Beiträge
zur
Kenntniss des Wesens
der
Säcular-Variation des Erdmagnetismus.

Von

Louis A. Bauer.

Beiträge
zur
Kenntniss des Wesens
der
Säcular-Variation des Erdmagnetismus.

INAUGURAL-DISSERTATION
ZUR
ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE
VON DER PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT
DER
FRIEDRICH-WILHELMS-UNIVERSITÄT ZU BERLIN
GENEHMIGT
UND
NEBST DEN BEIGEFÜGTEN THESEN
ÖFFENTLICH ZU VERTHEIDIGEN
am 12. Januar 1895
VON

Louis A. Bauer
aus Washington, District of Columbia.

OPPONENTEN:

Hr. Dr. phil. O. Schönrock.
- K. Fischer, Assistent am Kgl. Meteorologischen Institut zu Berlin.
- Dr. G. Lüdeling, Assistent am Kgl. Meteorologisch-Magnetischen Observatorium zu Potsdam.

Berlin.
MAYER & MÜLLER.
1895.

Seinen

Hochverehrten Lehrern

den Herren

Professoren Planck, von Bezold und Foerster

in Dankbarkeit gewidmet.



Vorwort.

Die Säcular-Variation des Erdmagnetismus ist bekanntlich eine der auffallendsten und zugleich eine der räthselhaftesten Erscheinungen im Gebiete der terrestrischen Physik. Sie hat schon Manchen verlockt, nach ihrer Entstehung und ihrem Wesen zu forschen. Zuerst von Vielen bestritten, zuletzt aber durch Gellibrand im Jahre 1634 endgültig bewiesen, ist diese merkwürdige Erscheinung schon etwas über $2^1/_2$ Jahrhunderte bekannt. Eine befriedigende Erklärung ist aber immer noch nicht gegeben worden. Sogar die Grundlagen, worauf man eine Theorie bauen könnte oder durch welche eine Hypothese geprüft werden könnte, fehlen uns fast gänzlich.

Tritt man der Sache näher, so findet man sogleich, wie auch die Litteratur ergiebt, dass man qualitativ ohne Schwierigkeit unzählige Gründe, die eine Variation des Erdmagnetismus zur Folge hätten, angeben kann. Die wirkliche Schwierigkeit besteht darin, zu beweisen, welche von allen den angebbaren und recht plausibel erscheinenden Ursachen die wahre ist. Und **das** glaubten schon Viele in Wirklichkeit gethan zu haben. Es mangelte ihnen aber an geeignetem Material, oder sie begnügten sich nur mit Allgemeinem. Wenn die Beobachtungs-Ergebnisse nicht mit ihren Theorien übereinstimmten, so pflegten sie die ersteren stets als fehlerhaft zu bezeichnen.

Die Säcular-Variation ist ein Phänomen, das anscheinend viele Jahrhunderte zum Abspielen in Anspruch nehmen wird. Ein voller Verlauf ist noch nirgends beobachtet worden. Es ist auch sehr fraglich, ob sich der nämliche Gang nach einer vollendeten Periode wiederholen wird. Sie ist also eine Natur-Erscheinung, die aller Wahrscheinlichkeit nach den Menschengeist andauernd anzuregen und zu beschäftigen im Stande sein wird. Gegenwärtig ist keine einzige nutzbringende Hypothese in unserem Besitz. Die Erforschung muss eine empirische sein.

Bei dem heutigen Stande wird es wahrscheinlich am nützlichsten sein, den Versuch zu machen, die Thatsachen, die aus dem schon vorhandenen Beobachtungs-Material hervorgegangen sind oder noch hervorgehen, zusammen zu stellen. Nur auf diese Weise kann ein Fundament, worauf eine Theorie sich stützen kann, gewonnen werden. Theorien können umgestossen werden, die Thatsachen besitzen immer einen bleibenden Wert.

Ein solcher Versuch ist in der folgenden Abhandlung begonnen, und es ist dabei eine Behandlungsweise eingeführt worden, die vielleicht mehr Früchte tragen wird zur Ableitung von Gesetzen, denen der Erd-

magnetismus auf der ganzen Erde gehorchen muss, als die bisher übliche. Das hier verwendete Material hatte ich schon zum grössten Theile in Washington gesammelt, wo mir als „Computer in der U. S. Coast und Geodetic Survey" die vortrefflichen Bibliotheken der verschiedenen wissenschaftlichen Bureaus z. B. Coast und Geodetic Survey, Weather Bureau, Naval-Observatory und Congressional Library zur Verfügung standen. In Berlin hatte ich die Freude, die reiche Kgl. Bibliothek und, durch die Liebenswürdigkeit meines hochverehrten Lehrers, des Herrn Geheimraths von Bezold, die des Kgl. Meteorologischen Instituts benutzen zu dürfen. Ich darf nicht unterlassen, bei dieser Gelegenheit den Directoren der verschiedenen Institute sowie den Vorständen der Bibliothek-Abtheilungen meinen verbindlichsten Dank auszusprechen, besonders Herrn Prof. Dr. Hellmann, unter dessen Leitung die letztgenannte Bibliothek steht, der stets bemüht war, mich mit den neuesten Veröffentlichungen bekannt zu machen. Gleichfalls bin ich dem Vorsteher des Kgl. Erdmagnetischen Observatoriums zu Potsdam, Herrn Dr. Eschenhagen, für die aufopfernde und liebenswürdige Weise, in welcher er sich bemühte, mich mit den Instrumenten des Observatoriums vertraut zu machen, zu grossem Dank verpflichtet. Bei der Lesung der Correctur hat mich Herr Dr. G. Lüdeling in wirksamser Weise unterstützt.

Friedenau bei Berlin,
Dec., 1894.

L. A. B.

Einleitung.

Bekanntlich nimmt eine Magnetnadel, die so aufgehängt ist, dass sie sich nach allen Richtungen frei bewegen kann, unter dem Einflusse des Erdmagnetismus eine ganz bestimmte Richtung an. Diese Richtung ist fortwährend Aenderungen, die theilweise periodisch und theilweise aperiodisch sind, unterworfen. Die Aenderungen spielen sich zum grössten Theile in verhältnissmässig kurzen Perioden — Tag, Jahr, $11^1/_3$ Jahr, etc. — ab. Sie sind auch gewöhnlich gering. In Folge der Säcular-Variation aber erfährt die Richtung im Laufe der Zeit recht beträchtliche Aenderungen. Es sollen in dieser Arbeit nur die letzteren einer Untersuchung unterworfen werden.

Die von der Magnetnadel eingenommene Richtung wird gewöhnlich durch zwei Winkel bestimmt: Die magnetische Declination, D, (Winkel, welchen eine durch die Nadel gelegte Verticalebene mit der Meridianebene bildet) und die magnetische Inclination, I, (Winkel gegen den Horizont und gemessen in der Ebene des magnetischen Meridians). Die auf die Nadel wirkende Kraft wird im allgemeinen durch ihre horizontale Componente, H, gemessen. Also für eine gewisse Zeit haben D, I, H bestimmte Werte. Zu einer anderen Zeit erhält man andere Werte. Da sich also die Ruhelage der Nadel continuirlich ändert, wird im Laufe der Zeit von der Nadel eine Kegelfläche beschrieben. Denkt man sich, dass eine Nadel in ihrem Schwerpunkt aufgehängt sei und wählt diesen Punkt nun als Mittelpunkt einer Kugel, deren Radius gleich der Entfernung des Aufhängepunktes vom Nordpol der Nadel ist, so wird auf dieser gedachten Kugelfläche eine gewisse Curve vom Nordpol der Magnetnadel im Laufe der Jahrhunderte beschrieben werden. Wir wollen die Untersuchung dieser Curve zum Gegenstand unseres ersten Capitels machen. Der Unterschied zwischen dieser Behandlungsweise und den früheren ist also der, dass die Gesammterscheinung der Säcular-Variation, nicht nur die einer Componente, z. B. der Declination oder Inclination untersucht werden soll.

Im Sommer 1892 legte ich der American Association for the Advancement of Science*) die Säcular-Variation-Curven für mehrere Stationen auf der Erde vor, und es ergab sich unter anderem, dass die Richtung der säcularen Bewegung einer freibeweglichen Magnetnadel bei allen Stationen denselben Sinn hatte. Bis dahin war meines Wissens dies nicht bekannt gewesen. Da man das gar nicht von vornherein sagen, noch weniger

*) „On the Secular Motion of a Free Magnetic Needle", Science, Bd. XX. Nr. 506.

aber die Richtung der Bewegung a priori für jeden Erdtheil angeben kann, so schien es mir sehr wichtig für die Kenntniss des Wesens der Säcular-Variation, die Sache gründlich weiter zu verfolgen. Es ist das jetzt geschehen. Die Untersuchung ist hierbei sehr umfangreich geworden und weiter in anderen Richtungen ausgedehnt worden, als es ursprünglich in meiner Absicht lag. In der vorliegenden Arbeit kann nur soviel von dem gesammelten Material gegeben werden, als gerade notwendig zur Begründung der angeführten Thatsachen ist. Eine vollständige Veröffentlichung behalte ich mir für eine spätere Zeit vor.

Es wäre gewiss wünschenswerter gewesen, wenn nicht nur Winkel-Aenderungen, sondern auch Kraft-Aenderungen in Betracht gezogen worden wären. Jedoch würden sich diese Untersuchungen auf einen recht kurzen Zeitraum beschränken müssen, da man erst seit Gauss' Zeit zuverlässige Intensitäts-Beobachtungen, also nur für etwa ein halbes Jahrhundert, besitzt. Ich habe mich deshalb vorläufig auf die Untersuchung der säcularen Bewegung, wie sie sich durch Declinations- und Inclinations-Aenderung ergiebt, beschränkt.*)

*) Soweit ich ermitteln konnte, war Kupfer der erste, welcher den Gedanken fasste, Declinations- und Inclinations-Aenderungen zu combiniren, und der eine solche Curve für einen Zeitraum von einigen Monaten für St. Petersburg und Peking zeichnete. Doch verfolgte er die Sache nicht weiter. (A. T. Kupfer: Pogg. Ann. Bd. 25, p. 223. Dove's Rep. d. Physik, Bd. 2, p. 218.) Der nächste, der diese Idee zur Erforschung der Säcular-Variation anwandte, war meines Wissens E. Quetelet. Er untersuchte die Curve nur für Brüssel und zwar mittelst der jährlichen Declinations- und Inclinations-Beobachtungen vom Jahre 1828 bis 1878. Er versuchte auf analytischem Wege verschiedene Kreiskegelflächen den Beobachtungen anzupassen und fand dabei, dass ein Kreiskegel, dessen Umlaufszeit 512 Jahre betrage, die Beobachtungen am besten befriedigte. Die Curve für dieses Intervall von 50 Jahren verlief im Sinne des Uhrzeigers, wenn man vom Centrum der Nadel aus nach dem Nordende schaute. (Bulletins de l'academie royale des sciences etc. de Bruxelles, 47me année, 2me serie, t. XLV.) Schott machte im Jahre 1885 einen graphischen Versuch und zeichnete dabei eine mittlere Curve für den nordöstlichen Theil der Vereinigten Staaten für den Zeitraum 1820 – 1885. Auch hier erfolgte die Bewegung im Sinne des Uhrzeigers. (U. S. Coast and Geodetic Survey Report for 1885, Appendix No. 6, p. 272.) Im Herbst 1891 veröffentlichte Liznar: „Eine Methode zur graphischen Darstellung der Richtungsänderungen der erdmagnetischen Kraft.“ (S. A. aus d. Sitz.-Ber. d. k. Akad. Wiss. Wien, Bd. C. Abth. IIa, Nov. 1891.) Liznar schlägt vor, die Curve so zu veranschaulichen, dass man die Schnittcurve bestimmt, die eine Ebene senkrecht zur Axe des Kegels mit der Kegelfläche machen würde. Der Gedankengang war kein neuer, jedoch Liznar gab zum ersten Male meines Wissens die strengen Formeln, wie sie z. B. für die Säcular-Variation nötig sind. Approximative Formeln, denen man sich für die kleinen Aenderungen, die in der täglichen und jährlichen Schwankungen vorkommen, bedienen kann, sind schon früher von Broun, Schaper und Anderen angewendet worden. Liznar's strenge Formeln fanden keine Verwendung von ihm in Bezug auf die Säcular-Variation. Ehe Liznar's Arbeit mir zur Kenntniss kam, hatte ich andere und einfachere Formeln, die in dem Nachstehenden entwickelt werden, aufgestellt. [Siehe auch die nachträglich gemachten Bemerkungen bezüglich der Wolf'schen Untersuchungen p. 21.]

Capitel I.

Ueber die Curve, die vom Nordende einer frei beweglichen Magnetnadel in Folge der Säcular-Variation beschrieben wird.

Allgemeine Bemerkungen.

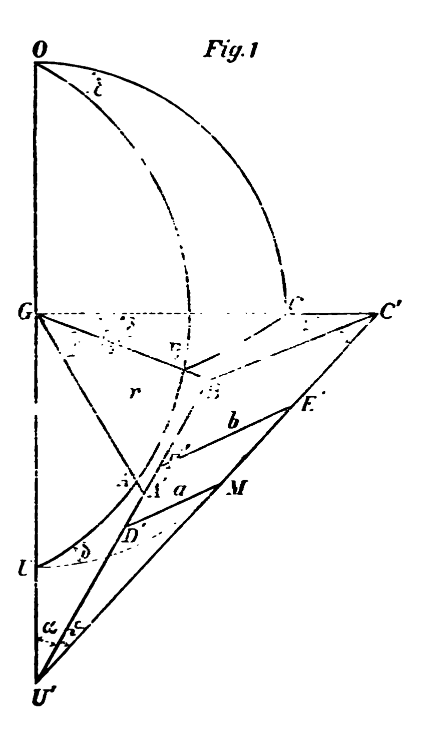
Die so beschriebene Curve liegt, wie schon in der Einleitung erläutert wurde, auf einer um den Schwerpunkt der Nadel beschriebenen Kugelfläche. Um die Curve zu veranschaulichen, muss eine zweckmässige Projection gewählt werden. Das Bequemste und Brauchbarste wäre unzweifelhaft die centrale Projection, wobei man sich die Curve auf eine tangential zur Kugelfläche gelegte Ebene, an der Stelle, welche einer mittleren der von der Nadel im Laufe der Zeit eingenommenen Richtungen entspricht, mittelst gerader Linien, die vom Centrum der Kugel aus durch die Begrenzungslinie der Curve gezogen sind, projicirt denkt. Auf diese Weise erhält man die projicirte Bahn, welche der Nordpol einer Magnetnadel im Laufe der Jahrhunderte durchläuft und wie sie einem Beobachter der in der Mitte der Nadel steht und nach dem Nordpol blickt, erscheinen würde.

Um alle Annahmen zu vermeiden über die geometrische Gestalt der säcularen Curve, wurde absichtlich von einer mittleren Richtung, die einem bestimmten Zeitintervall entspricht, also durch das vorhandene Material bestimmt wird, und nicht von einer Axe des beschriebenen Kegels gesprochen. Es ist nämlich noch gar nicht gesagt, dass die Curve eine einfache geschlossene ist, oder dass sie überhaupt eine geschlossene ist. Mit anderen Worten, es ist noch nicht bewiesen worden, dass es wirklich eine säculare Periode giebt, nach deren Vollendung wieder die nämliche Curve durchlaufen wird. Wie schon bemerkt, ist bisher noch nirgends eine volle Periode beobachtet worden. Die Entscheidung der Frage muss also noch mehrere Jahrhunderte hinausgeschoben werden. Ja, es ist noch nicht einmal erwiesen, dass die Perioden, die sich gegenwärtig an verschiedenen Stationen der Erde abspielen, die gleiche Dauer haben. Es könnte gewiss leicht denkbar sein, dass die Erde eine gemeinsame säculare Periode besässe, jedoch aus den vorhandenen Beobachtungsdaten stellt sich das keineswegs ohne Weiteres heraus. Es wird im Folgenden gezeigt werden, dass nur unter der Annahme, dass die säculare Curve nicht an allen Stationen einfach gestaltet ist, sondern Schleifen enthält, die Möglichkeit einer einzigen säcularen Periode einigermassen geboten werden kann. Zwar glaubten schon Mehrere, solch' eine einzige Periode nachgewiesen zu haben. Sie besassen aber nicht hinreichen-

des Material, oder zogen ihre Schlüsse aus muthmasslich fortschreitenden Bewegungen der Isogonen. Es wurden ausschliesslich Declinations-Aenderungen in Betracht gezogen. Erschöpfender glaubte Felgentraeger*) die Frage behandelt zu haben. Nach seinen Untersuchungen wäre die Existenz einer säcularen Periode von nahezu 480 Jahren „für die ganze Erde sehr wahrscheinlich“. Leider war er etwas unglücklich in einigen seiner gewählten Stationen, auch waren ihm offenbar nicht alle der eingehenden Untersuchungen der U. S. Coast and Geodetic Survey, die unter Schott gemacht wurden, zur Kenntniss gekommen, sonst wäre der obige Schluss vielleicht nicht so leicht in seine höchst anerkennenswerte Arbeit gerathen.

Ableitung der Constructions-Formeln.

In der nebenstehenden Fig. 1 soll GM eine mittlere Richtung der Magnetnadel, die einem bestimmten Zeitintervalle entspricht, vorstellen. Wie bekannt neigt die Nadel in der nordmagnetischen Hemisphäre unter den Horizont. GM stellt also den unteren Theil der Nadel dar. G ist der Schwerpunkt und zugleich Aufhängepunkt, M der Nordpol. Um G mit dem Radius $r = GM$ beschreibe man eine Kugelfläche. Ist O der Zenith, U der Nadir des Ortes, so ist die Ebene der gedachten Kugel OMU zu gleicher Zeit die Ebene des mittleren magnetischen Orts-Meridians und ist also, wenn GBC die Aequatorial-Ebene der Kugel oder Horizontalebene des Ortes vorstellt, senkrecht zur letzteren. Die Richtung GM sei bestimmt durch die mittlere Declination, D_0, und durch die mittlere Inclination I_0. Zu einer anderen Zeit stelle GA die von der Nadel eingenommene Richtung die durch D und I festgestellt ist, dar. Die magnetische Meridianebene, zu GA gehörig, sei OAU. An M denke man sich jetzt die Tangentialebene, welche als Projectionsoder Zeichnungsebene dienen soll, gelegt. Sind $U'C'$ und $U'B'$ die Schnittlinien dieser Ebene mit den zu GM und GA gehörigen magnetischen Meridianebenen und $B'C'$ die Schnittlinie mit der Horizontalebene, so repräsentirt $U'B'C'$, einen begrenzten Theil dieser Tangentialebene. Wir bezeichnen $D - D_0$ mit δ und $I - I_0$ mit i. Es sind dann die Winkel



*) W. Felgentraeger: Die längste nachweisbare säculare Periode der Erdmagnetischen Elemente. Teil I. Deklination. Inaugural-Dissertation. Universität Göttingen, 1892.

BOC und *BGC* gleich δ, d. h. gleich der magnetischen Declin·tion von der mittleren ausgerechnet.

Ferner $\sphericalangle CGM = I_0 = \sphericalangle GU'M$

$\sphericalangle BGA = I$

Es soll jetzt *A*, die Lage auf der Kugelfläche des Nordpols der Nadel zur Zeit *t*, auf die Tangential-Ebene projicirt werden. Zu diesem Ende verlängere man die Linie *GA*, bis sie die genannte Ebene schneidet. Dieser Schnittpunkt sei *A'*, dann ist *A'* die centrale Projection von *A*. Ebenso ist *U'*, der gemeinsame Schnittpunkt aller Meridianebenen, die centrale Projektion von *U*, *B'* von *B*, *C'* von *C*, und *M* von sich selber. Die Aufgabe ist jetzt, *A'* auf der Projectionsebene zu bestimmen. Liznar that dies, indem er den Tangenzpunkt, *M*, zum Anfangspunkt eines rechtwinkligen Coordinaten-Systems macht, mittelst dessen *A'* durch rechtwinklige Coordinaten bestimmt wird. Die so erhaltenen Formeln sind nicht in einer für die Rechnung bequemen Form gegeben worden, auch sind rechtwinklige Coordinaten nicht geeignet, wenn man Winkel-Aenderungen aus der Curve entnehmen will.

Der folgende Weg wurde von mir eingeschlagen. Man mache *U'* zum Anfangspunkt von Polarcoordinaten. Die Lagen der *A'* sollen dann festgelegt werden durch den Radiusvector $\rho = U'A'$ und den Polarwinkel $\vartheta = \sphericalangle MU'A'$.

Da die mittlere magnetische Meridianebene *OMU'* senkrecht steht zur Horizontalebene *GB'C'* und zur Tangential-Ebene *U'B'C'*, so ist die Schnittlinie der letzteren mit der zweiten, *B'C'*, senkrecht zur Schnittlinie der ersten mit der zweiten, *GC'*, und ebenso senkrecht zur Schnittlinie der ersten mit der dritten, *U'C'*.

$$\text{Also } \sphericalangle GC'B' = 90^0 = B'C'U'.$$

Aus dem Dreiecke *GB'C'* erhalten wir:

$$B'C' = GC' \,.\, tang.\,(D - D_0) = GC' \,.\, tang.\,\delta$$

Aus dem Dreiecke *U'B'C'*

$$B'C' = U'C' \,.\, tang.\,\vartheta = GC' \,.\, cosec.\, I_0 \,..\, tang.\,\vartheta$$

Hieraus durch Division der beiden Gleichungen:

$$tang.\,\vartheta = sin\, I_0 \,.\, tan\,\delta \qquad (1)$$

In dieser Gleichung ist I_0 sowie $\delta = D - D_0$ bekannt, also der Polarwinkel ϑ völlig bestimmt.

In dem Dreiecke *U'A'G* verhält sich:

$$U'A' : U'G = sin\, U'GA' : sin\, GA'U'$$

oder

$$\rho : r\, cosec\, I_0 = sin\,(90^0 - I) : sin\,[180^0 - (90^0 - I + GU'A')]$$

und wenn wir $\sphericalangle GU'A' = \alpha$ setzen, so ist:

$$\rho = \frac{r \,.\, cos\, I}{sin\, I_0 \,.\, cos\,(I - \alpha)} \qquad (2)$$

α ergiebt sich durch:

$$tang.\ \alpha = \frac{GB'}{GU'} = \frac{GC'}{cos\,\vartheta} \cdot \frac{1}{GC' \,.\, cotg.\, I_0} = \frac{tang.\, I_0}{cos\,\vartheta} \qquad (3)$$

Durch (1), (2) und (3) wird also A' völlig bestimmt sein. Wir wollen diese strengen Formeln aber noch für unsere Zwecke vereinfachen.

Man setze $I = I_0 + i$ in (2) ein:

$$\rho = \frac{r \,.\, cos\,(I_0 + i)}{sin\, I_0 \,.\, cos\,(I_0 + i - a)} = \frac{r}{sin\, I_0} \cdot \frac{cos\, I_0\, cos\, i - sin\, I_0\, sin\, i}{cos\,(I_0 - a)\, cos\, i - sin\,(I_0 - a)\, sin\, i}$$

Oder
$$\rho = (r\, cotg.\, I_0 - tang.\, i).\, m \qquad (4)$$
$$\text{wo} \quad m = \frac{1}{cos\,(a - I_0) + sin\,(a - I_0)\, tang\, i}$$

Um zu erkennen, wie gross die Werte von m für unsere Fälle sein können, wurden die folgenden zwei Tabellen berechnet.

Werte von $(a - I_0)$

I_0	$D - D_0 = \delta$			
	5°	10°	15°	20°
0°	0°.00	0°.00	0°.00	0°.00
10	0.04	0.17	0.34	0.63
20	0.07	0.31	0.65	1.17
30	0.09	0.43	0.87	1.57
40	0.11	0.48	0.98	1.76
50	0.11	0.48	0.97	1.75
60	0.09	0.42	0.85	1.52
70	0.07	0.31	0.63	1.12
80	0.04	0.16	0.33	0.59
90	0.00	0.00	0.00	0.00

Werte von m

$a - I_0$	$I - I_0 = i$			
	+15°	+5°	−5°	−15°
0.0°	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.5	0.9997	0.9993	1.0008	1.0024
1.0	0.9955	0.9986	1.0017	1.0048
1.5	0.9933	0.9980	1.0026	1.0074
2.0	0.9913	0.9976	1.0037	1.0101
2.5	0.9893	0.9972	1.0048	1.0129

Eine säculare Aenderung der Declination um 40°, also δ höchstens = 20°, für eine Station kommt sehr selten vor. Für diesen Fall könnte also der grösste Wert von $(a - I_0) = 1°.76$ sein. Für solch' eine Station steigt aber i kaum auf 5°. m würde also für diesen extremen Fall zwischen 0.998 und 1.003 variiren. Die am meisten von 1 abweichenden Werte für m trifft man in den Aequatorial-Gegenden. Hier kann m zwischen 0.996 und 1.004 liegen. Die Säcular-Curven sind jetzt von mir für fast alle Erdtheile construirt worden. In jedem Falle konnte mit hinreichender Genauigkeit für den angewandten Maasstab m schlechthin = 1 gesetzt werden.

Es vereinfacht sich also Gleichung (4) zu:

$$\rho = r\, cotg.\, I_0 - r\, tang.\, i$$
$$= U'M - r\, tang.\, i$$

Oder wenn wir $U'M = \rho_0$ setzen:

$$\rho = \rho_0 - r\, tang.\, i \qquad (5)$$

Wir können also für unsere Zwecke ρ betrachten als eine Function von i allein. Ist I bestimmt, also auch i, so ist ρ = einer Constanten. Oder mit anderen Worten: Die Curven, die von U' aus durch den Radiusvector ρ für bestimmte Werte von I beschrieben werden, können als Kreisbögen für unsere Fälle betrachtet werden. Diese Kreisbögen sind aber nichts Anderes als die centralen Projectionen auf die Tangentialebene der Parallelkreise unserer gedachten Kugelfläche. Jeder grosser Kreis der Kugel wird

als eine gerade Linie projicirt. Die projicirten Merdiankreise der Kugelfläche sind also gerade Linien, die sich alle in U' schneiden.

Nun wird auf der Kugel die Inclination längs eines Meridiankreises gemessen, die Declination längs des Parallelkreises, welcher der herrschenden Inclination entspricht. Es wäre also ein natürliches Verfahren, wenn man die projicirten Meridian- und Parallelkreise der Kugel als Coordinaten, worauf die Säcular-Curve bezogen werden kann, einführt. Die Declinations-Aenderungen werden dann auf der Projectionsebene längs den von ρ beschriebenen Kreisbögen gemessen und die Inclinations-Variationen längs den Radien dieser Kreise.

Die Polar-Winkel, ϑ, die diese Radien mit der Anfangslinie $U'M$ machen, können entweder aus Gleichung (1) berechnet werden, oder auch graphisch bestimmt werden. Im allgemeinen aber ist es praktischer; wenn wir noch die folgende Hilfsconstructionslinie einführen. Ziehe die Linie MD' (Fig. 1) senkrecht zu $U'C'$ und so, dass sie in der Projectionsebene liegt. Dann ist:

$$MD' = a = U'M.\ tang.\ \vartheta = r\ cotg.\ I_0\ .\ tang.\ \vartheta$$

Mit Hilfe der Gleichung (1) erhält man:

$$a = r\ cos\ I_0.\ tang.\ \delta \qquad (6).$$

Hiermit können die Radien oder Inclinations-Ordinaten $U'D'$ leicht construirt werden.

Die einfachen Gleichungen (5) und (6) reichen für die meisten Fälle aus.

In mässigen magnetischen Breiten kann es vorkommen, dass ρ so gross wird, dass man die Kreisbögen oder Declinations-Ordinaten von U' aus nicht leicht ziehen kann. Man muss sich dann noch weiterer Hilfsconstructionslinien bedienen.

Für die Inclinations-Ordinaten:

Man bestimme einen zweiten Punkt F' (Fig. 1) in ähnlicher Weise wie D'. Es sei $U'E'$ der Wert ρ, welcher z. B. GA, also einer bestimmten I entspricht. Zieht man wieder $E'F'$ senkrecht zu $U'C'$, so ist:

$$E'F' = b = U'E'\ .\ tang.\ \vartheta = \rho\ sin\ I_0\ tang.\ \delta \qquad (7)$$

Für die Declinations-Ordinaten:

Man muss $F'A'$ bestimmen.

$$F'A' = c = U'F' - U'A' = U'E'\ sec\ a - \rho = \rho\ (sec\ \vartheta - 1) \qquad (8)$$

Der Wert von ϑ ergiebt sich aus (1), also ist Lage A' durch (7) und (8) festgestellt.

Für die Fälle wo man (7) und (8) verwenden muss, ist $U'F'$ nahezu senkrecht zu $E'F'$ und man kann mit hinreichender Genauigkeit setzen:

$$c = E'F'\ tang.\ \vartheta = b\ .\ tang.\ \vartheta \qquad (9)$$

Zum Schluss wollen wir die Formeln noch einmal zusammenfassen.

Im allgemeinen:

$$\rho_0 = r\ cotg.\ I_0$$
$$\rho = \rho_0 - r\ tang.\ i$$
$$a = r\ cos\ I_0\ .\ tang.\ \delta$$

Für specielle Fälle kommen noch hinzu:

$$\begin{aligned} tan\,\vartheta &= sin\,I_0\,.\,tang.\,\delta \\ a &= \rho_0\,.\,tang.\,\vartheta \\ b &= \rho\,.\,tang.\,\vartheta \\ c &= \rho\,.\,tang.^2\,\vartheta \end{aligned}$$

Anwendung der Formeln.

Wir wählen für diesen Zweck London als erstes Beispiel. Für diese Station haben wir die längste Reihe von Declinations- und Inclinations-Beobachtungen. Da im Rahmen dieser Arbeit es nicht gestattet werden kann, eine ausführliche Zusammenstellung des gesammten Materials*) zu geben, so sollen die Beobachtungs-Daten nur in einer für die Uebersichtlich keit bequemen Form mitgetheilt werden.

Breite (φ) der angenommenen Station: $51^0\,30'$

Länge (λ) „ „ „ $0^0\,07'$ W. von Greenwich.

Das Mittel der zu Greenwich und Kew gemachten Beobachtungen soll sich auf diese Station beziehen. (Tabelle nebenstehend.)

In dieser Tabelle bedeutet D_b Declination beobachtet, + wenn West- — wenn Ost-Declination.

$\triangle_F = D_b - D$ (berechnet nach Felgentraeger's Formel)

$\triangle_B = D_b - D$ („ „ meiner „)

Felgentraeger's Formel**) für die Rechnung bequem umgeformt lautet:

$$\begin{aligned} D = &+ 6.964^0 + 16.975^0\,sin\,\alpha - 0.374^0\,sin\,(2\,\alpha + 45.11^0) \\ &+ 0.603^0\,sin\,(3\,\alpha + 153.76^0) - 0.810^0\,sin\,(4\,\alpha + 43.78^0) \qquad 1) \\ \alpha = &\frac{360^0}{477}\,(\text{Datum} - 1695.95) = 0.755^0\,(t - 1850) + 116.28^0 \end{aligned}$$

Meine Formel†) (angenähert):

$$D = + 6.24^0 + 17.75^0\,sin\,[0.7^0\,(t - 1850) + 112.73^0] \qquad (2)$$

t = Datum zu D gehörig.

---

*) Das Material für London wird jetzt nahezu erschöpfend gesammelt worden sein. Alle Bände der Transactions und der Proceedings of the Royal Society of London sind von mir für diesen Zweck durchblättert, sowie viele andere Quellen ausgebeutet worden. Ohne von meiner Forschung Kenntniss zu haben, hat Felgentraeger in seiner erwähnten Dissertation sich grosse Mühe gegeben, das Londoner Material (nur für Declinationen) zusammen zu tragen. Ich erweise vorläufig für die Declinationen auf seine ausführliche Zusammenstellung.

**) Gegeben in der erwähnten Arbeit p. 26:

$$\begin{aligned} D = + 6.964^0 + 16.975^0\,sin\,\varphi &- 0.264^0\,sin\,2\,\varphi - 0.265^0\,cos\,2\,\varphi \\ &- 0.541\,sin\,3\,\varphi + 0.267\,cos\,3\,\varphi \\ &- 0.585\,sin\,4\,\varphi - 0.560\,cos\,4\,\varphi \end{aligned}$$

$\varphi = 0.755^0\,(t - 1695.95)$. Statt φ habe ich α substituirt, um Verwechslung mit der geographischen Breite φ zu vermeiden.

†) Science Bd. 20, Nr. 506.

London: Declination.

Datum	Beobachter	D_b*)	$\triangle_F$	$\triangle_B$
		0	0	0
1540.	van Bemmelen Karte	— 8 (?)	—0.8(?)	+ 3.0 (?)
1580.79	Boroughs und Norman	— 11.25	— 0.30	— 0.28
1622.45	E. Gunter	— 5.92	+ 0.92	+ 0.72
1634.45	Gellibrand	— 4.07	+ 0.39	+ 0.67
1640.	H. Bond sen.	— 3.11	0.00	+ 0.55
1657.	" "	0.00	+ 0.10	+ 0.43
1665.94	" "	+ 1.48	— 0.09	+ 0.15
1666.44	J. Seller	+ 1.57	— 0.09	+ 0.15
1870.40	Millet	+ 2.10	— 0.24	— 0.15
1672.	E. Halley	+ 2.50	— 0.19	— 0.21
1680.	Hooke	+ 4.50	+ 0.54	+ 0.09
1683.	E. Halley	+ 4.50	+ 0.06	— 0.57
1692.	"	+ 6.00	+ 0.16	— 1.02
1698.	Cassini	+ 7.00	+ 0.18	— 1.32
1700.	.....	+ 8.0 (?)	— —	— —
1722.	G. Graham	+ 14.2 (?)	— —	— —
1746.50	"	+ 17.31	+ 0.70	— 0.42
1759.29	J. Canton	+ 18.97	— 0.65	— 0.72
1773.5	Heberden	+ 21.15	— 0.63	— 0.33
1779.02	Royal Society	+ 22.36	— 0.14	+ 0.30
1788.55	G. Gilpin	+ 23.48	+ 0.05	+ 0.60
1793.62	"	+ 23.82	+ 0.06	+ 0.59
1798.57	"	+ 24.03	+ 0.03	+ 0.52
1803.57	"	+ 24.13	— 0.01	+ 0.39
1808.75	"	+ 24.18	— 0.01	+ 0.29
1814.59	G. Gilpin u. Roy. Soc.	+ 24.29	+ 0.09	+ 0.34
1814.66	M. Beaufoy	+ 24.29	+ 0.09	+ 0.34
1820.45	Royal Society	+ 24.22	+ 0.13	+ 0.24
1837.50	J. C. Ross	+ 23.60	+ 0.22	+ 0.13
1842.50	Kew und Greenwich	+ 23.23	+ 0 17	+ 0.05
1845.50	Greenwich Obs.	+ 23.22	+ 0.4	+ 0.36
1850.50	" "	+ 22.70	+ 0.2	+ 0.14
1855.50	" "	+ 22.06	+ 0.03	+ 0.05
1860.50	Kew und Greenwich	+ 21.44	— 0.06	— 0.16
1865.50	" " "	+ 20.76	— 0.15	— 0.29
1870.50	" " "	+ 20.10	— 0.16	— 0.31
1875.50	" " "	+ 19.49	— 0.02	— 0.25
1880.50	" " "	+ 18.79	+ 0.11	— 0.20
1885.50	" " "	+ 18.22	+ 0.48	— 0.02
1890.50	" " "	+ 17.63	+ 0.83	+ 0.24

Beide Formeln wurden mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate aufgestellt. Wie Felgentraeger zu Werke ging, muss aus seiner Dissertation entnommen werden. Ich machte drei Ausgleichungen unter den Annahmen, dass die den Beobachtungen zu Grunde liegende Periode sei 538, 514 oder

*) Beobachtungen, mit dem Fragezeichen behaftet, sind unsicher.

493 Jahre, also $\beta = \frac{360^0}{\text{Periode}}$ sei $0.^\circ67$, $0.^\circ70$ oder $0.^\circ73$. Mein Zweck war nicht, die Periode zu bestimmen — das ist noch zu verfrüht — sondern eine möglichst gute Interpolations-Formel zu erhalten. Die beste Uebereinstimmung mit den Beobachtungen gaben die mit Hilfe des mittleren Wertes von $\beta = 0.70$ berechneten Declinationen. Als ich die Formel vor mehr als zwei Jahren aufstellte, hatte ich im Sinn, noch ein zweites Sinusglied hinzuzufügen. Da Felgentraeger die Beobachtungen so sorgfältig bearbeitet hat, werde ich mich seiner Formel bedienen. Der numerische Vergleich, der sich aus den letzten zwei Columnen der Tabelle ergiebt, ist interessant, da man sieht, wie weit schon ein Sinusglied die Säcular-Variation ausdrückt. Die Erfahrung hat auch gelehrt, dass in den meisten Fällen ein Sinusglied schon hinreichend ist, um den grössten Theil der Aenderung wiederzugeben. Eine reine Sinus-Curve haben wir aber trotzdem durchaus nicht, sondern es kommen viele kleine Schwankungen hinein, die den Gang etwas verwickeln. Es sind eben diese kleine Schwankungen Schuld daran, dass man nicht im Stande ist, mittelst der aufgestellten Formeln eine Declination sicher innerhalb 0.5 Grad, 5 Jahre vorauszusagen. Felgenträger z. B. leitete seine Formel aus den Beobachtungen 1580—1882 ab. Im Jahre 1885 wich die Formel schon um 0.5 Grad 1890 sogar um 0.8 Grad von der Beobachtung ab.

London: Inclination.

Datum	Beobachter	I_b	I_r	$\triangle$	g
1576.	Norman	$71.^\circ83$	$71.^\circ19$	$+ 0.^\circ64$	0.5
1600.	Gilbert	72.00	72.29	— 0.29	0.5
1613.	M. Ridley	72.50	72.81	— 0.31	0.5
1676.	Bond	73.50	74.34	— 0.84	0.5
1720.5	Whiston	74.48	74.08	+ 0.40	0.5
1723.29	Graham	74.70	74.03	+ 0.67	0.5
1746.5	„	73.5	73.42	+ 0.08	0.5
1773.0	Nairne und Heberden	72.32	72.44	— 0.12	0.5
1777.72	Royal Society	72.43	72.25	+ 0.18	0.5
1795.0	Gilpin	71.30	71.47	— 0.17	0.5
1821.10	Kater, Sabine u. Christie	70.32	70.20	+ 0.12	1.0
1829.82	Sabine, Kater u. Segelcke	69.68	69.79	— 0.11	1.0
1837.42	Lloyd, Fox und Andere	69.35	69.42	— 0.07	1.0
1847.50	Greenwich Obs.	68.90	68.96	— 0.06	1.0
1854.65	Welsh und Sabine	68.51	68.64	— 0.13	1.0
1860.12	Greenwich und Kew	68.37	68.40	— 0.03	1.0
1866.12	„ „	68.07	68.16	— 0.09	1.0
1872.12	„ „	67.87	67.92	— 0.05	1.0
1878.00	„ „	67.70	67.71	— 0.01	1.0
1884.00	„ „	67.58	67.50	+ 0.08	1.0
1888.12	„ „	67.52	67.36	+ 0.16	1.0

I_b = beobachtete Inclination; I_r . berechnete Inclination
$\triangle = I_b - I_r$; g = Gewicht (näherungsweise)

Interpolations-Formel, von mir aufgestellt*):

$$I = 70^{\circ}.40 - 3^{\circ}.98 \sin [0^{\circ}.7 (t - 1850) + 23^{\circ}.02] \quad (3)$$

I = Inclination zur Zeit t.

Diese Formel wurde mit Hilfe der Ausgleichungs-Rechnung gewonnen und unter verschiedenen Annahmen des Wertes von $\beta = \frac{360^{\circ}}{\text{Periode}}$. Die beste Übereinstimmung wurde wieder mit $\frac{360}{514} = 0^{\circ}.70$ erhalten. Es muss hier betont werden, dass diese Übereinstimmung in der Periode für Declinations- und Inclinationsreihen in meinen Formeln kein Beweis ist, dass eine solche Periode wirklich zu Grunde liegt, oder dass sie die nämliche ist (wie allerdings zu erwarten wäre) für beide Reihen. Das Material ist noch zu mangelhaft, um die Entscheidung treffen zu können. Die gegenwärtige Absicht ist nur, Interpolations-Formeln herzustellen, um die Säcular-Curve construiren zu können**).

Construction der Säcular-Curve für London.

Mit Hilfe der Formeln (1) und (3) wurde die folgende Tabelle berechnet.

Mittelst dieser Daten soll die Curve construirt werden. Zu diesem Ende nehmen wir als mittlere Richtung GM der Nadel die an, welche den Constanten der Formeln (1) und (3) entspricht, also die, welche einer Declination von $7^{\circ}.0$ West und einer Inclination von $70^{\circ}.4$ entspricht. Für den Radius r der gedachten Kugelfläche oder als halbe Länge der Nadel wählen wir 20 cm. Es soll also dargestellt werden die centrale Projection der Curve die im Laufe der Zeit zu London von einer frei aufgehängten Magnetnadel, 40 cm (15.75 Engl. Zoll) lang, vom Nordende beschrieben wird. Mittelst der Formeln (1) und (3) erhalten wir:

Datum	***) D	***) I
	°	°
1540	— 7.2(?)	+ 69.4 (?)
1560	— 9.6(?)	70.4 (?)
1580	—10.93	71.36
1600	—10.13	72.27
1620	— 7.24	73.06
1640	— 3.27	73.70
1660	+ 0.59	74.14
1680	+ 3.89	74.36
1700	+ 7.08	74.34
1720	+10.97	74.09
1740	+15.30	73.62
1760	+19.57	72.96
1780	+22.65	72.14
1800	+24.07	71.23
1820	+24.09	70.26
1840	+23.22	69.30
1860	+21.55	68.41
1880	+18.73	67.63
1890	+17.57†)	+ 67.21

*) Science, Bd. 20, No. 506.

) Es soll noch darauf aufmerksam gemacht werden, dass die Inclinationen 1576—1723 schon von Mehreren als verdächtig bezeichnet worden sind. Aus der Columne △ ersieht man auch, dass die Differenzenn $I_b - I_r$ für diesen Zeitpunkt etwas erheblich sind. Es scheint allerdings, als ob die beobachteten Werte ungefähr im Durchschnitte 1° zu niedrig wären, und unter dieser Annahme würde man auch unzweifelhaft eine bessere Interpolations-Formel aufbauen können. Jedoch habe ich gegenwärtig darauf verzichtet. Es sind auch von Anderen, z. B. Hansteen (Den magnetiske Inclinations Forandringer, Copenhagen, 1857) und Schreyer (Erdmagnetische Arbeiten, Progr. Nr. 511, Freiberg, 1886) Formeln für die Inclinationen aufgestellt worden; da sie aber nicht so vollständig wie meine Formel sind, habe ich sie hier nicht gegeben. — *) Die mit dem Fragezeichen behaftet, sind extrapolirt. — †) Dieser Wert wurde nicht mittelst Formel (1), sondern aus den Beobachtungen erhalten.

$$\rho_0 = r\ cotg.\ I_0 = 20\ .\ cotg.\ 70\overset{0}{.}4 = 20 \times 0.3561 = 7.12 \text{ cm}$$

$$\rho = \rho_0 - r\ tang.\ i = 7.12 - 20\ tang.\ (I - 70\overset{0}{.}4)$$

$$a = r\ cos\ I_0\ tang.\ \delta = 20 \times 0.3354\ tang.\ \delta = \overset{cm}{6.71}\ tang.\ (D - 7\overset{0}{.}0)$$

ρ und a wurden dann für verschiedene Werte von D und I berechnet*).

In der Londoner Figur (Tafel I) soll $U'M$ die Schnittlinie der Ebene des mittleren magnetischen Meridians ($D = +7^0$) mit der Tangentialebene oder Projectionsebene, die also senkrecht zur mittleren Richtung GM der Nadel steht, darstellen. (Siehe Fig. 1.) M ist der Berührungspunkt. U' ist der Schnittpunkt aller projicirten Meridiane. Beschreibt man jetzt Kreise um U' mit den aus einer Tabelle*) entnommenen Radien ρ, dann sind die Bögen dieser Kreise (innerhalb der Winkel ϑ oder δ, die vorkommen**) die projicirten Parallelkreise der gedachten Kugel, die den Inclinationen für je 1^0 von $66^0 - 75^0$ entsprechen. Längs dieser Parallelkreise werden die Declinationen gemessen, die Projectionen davon repräsentiren also auf der Projectionsebene die Declinations-Ordinaten.

Um die Projectionen der Meridiane der gedachten Kugel zu zeichnen, ziehe man die Linie MD' senkrecht zu $U'M$†) (vergl. mit Fig. 1 p. 10). Man trage dann auf MD' von M aus die Werte von a*) ab für Intervalle von $\delta = 1^0$. a muss nach links von M abgemessen werden für positive Werte, und nach rechts, für negative. Wenn man dann die so construirten Punkte mit U' verbindet, hat man die Projectionen der Kugel-Meridiane,

---

*) Etwa so:

I	$I - 70\overset{0}{.}4$	$-r\ tang\ i$	ρ	D	$D - 7^0$	$tang\ \delta$	a	D
0	0	cm	cm	0	0		cm	0
66	− 4.4	+ 3.07	17.31	+ 25	18 −	+ .325 −	+ 4.36 −	− 11
67	− 3.4	+ 2.37	16.61	23	16	.287	3.86	9
68	− 2.4	+ 1.68	15 92	21	14	.249	3.34	7
69	− 1.4	+ 0 98	15.22	19	12	.213	2·86	5
70	− 0.4	+ 0.28	14.52	17	10	.176	2.36	3
71	+ 0.6	− 0.42	13.82	15	8	.140	1.88	− 1
72	+ 1.6	− 1.12	13.12	13	6	.105	1.41	+ 1
73	+ 2.6	− 1.81	12.43	11	4	.070	0.94	3
74	+ 3.6	− 2.51	11.73	9	2	.035	0.47	5
75	+ 4.6	− 3.21	11.03	+ 7	+ 0 −	+ .000 −	+ 0.00 −	+ 7

[Diese Tabelle ist für $r = 40$ cm berechnet; r wurde schliesslich allgemein gleich 20 cm angenommen.]

**) Die grösste Abweichung von einem Kreise, die für London vorkommen kann, wird sich für $I = 70^0$ und $D = +24.2^0$ und für $D = -11^0$ ergeben. Für den ersten Fall ist $\rho = 7.27$, im zweiten Falle ist $\rho = 7.25$ statt 7.26 cm.

†) Die so gezogene Linie ist die centrale Projection desjenigen grossen Kreises, welcher die mittlere Richtung GM enthält und mit der Aequatorial- oder Horizontalebene den mittleren Inclinationswinkel 70.4 macht.

die um je 1° von einander entfernt sind, erhalten. Es sind dies dann die Inclinations-Ordinaten.

Mittelst des so erhaltenen Coordinaten-Systems ist es jetzt höchst einfach, die Londoner Säcular-Curve mit Hilfe der Tabelle p. 17 zu zeichnen, und es bedarf keiner weiteren Erläuterung.

Einiges über das Coordinaten-Netz.

Man sieht, dass die Inclinationen nach unten steigen. Dies bedeutet, da in der nördlichen magnetischen Hemisphäre der Nordpol des Magneten unter den Horizont neigt, dass, wenn die Neigung sich in Folge der Säcular-Variation vermindert, der Nordpol sich dem Horizonte genähert hat oder gestiegen ist. Es sind daher die Kreisbögen in der erwähnten Hemisphäre convex nach oben. Dagegen neigt sich in der südlichen magnetischen Hemisphäre der Nordpol über den Horizont, oder er hat, wie wir sagen wollen, eine negative Inclination. Wenn sich jetzt die negative Inclination numerisch vermindert oder algebraisch vergrössert, dann bedeutet dies, dass sich wieder wie vorher der Nordpol dem Horizonte genähert hat; er ist aber diesmal nicht gestiegen, sondern gefallen. Die Zahlen werden also in dieser Hemisphäre numerisch nach oben steigen, algebraisch aber im selben Sinne wie vorher. Die Kreisbögen findet man jetzt mit der convexen Seite nach unten gekehrt.

Die Declinationen wachsen nach links. Da wir westliche Declination mit + und östliche mit — bezeichnet haben, so bedeutet dies, dass sich, wenn die Declination algebraisch wächst, die Nadel nach Westen bewegt. Wenn dagegen die Declination algebraisch abnimmt, bewegt sich die Nadel nach Osten.

Nach diesem einheitlichen Systeme sind alle Curven, die in dieser Arbeit vorkommen, gezeichnet worden. Man sieht also stets vor sich diejenige Curve, die der Nordpol beschreibt, vom Schwerpunkt, oder, Aufhängepunkt der Nadel (40 cm lang) aus gesehen oder richtiger gesprochen, man erhält stets die Schnittlinie des von der frei aufgehängten Magnetnadel beschriebenen Kegels mit einer Ebene, die senkrecht auf der mittleren Richtung der Nadel steht und deren Entfernung vom Aufhängepunkt in Richtung des Nordpols der Nadel gemessen, 20 cm beträgt.

Besprechung der Londoner Säcular-Curve.

Vom Jahre 1580 bis z. J. 1890 ist die Curve voll ausgezogen worden und alle 20 Jahre unterbrochen, um den Verlauf leichter verfolgen zu können. Von 1540—1580 ist sie gestrichelt, da der einzige Anhaltspunkt für diesen Theil die Declination für 1540 aus den Van Bemmelen Karten und die aus den Formeln extrapolirten Werte sind.

Wie weit ist die gewonnene Curve zuverlässig? Davon wollen wir uns erst einen angenäherten Begriff machen, bevor wir die Curve diskutieren.

Felgenträger giebt für seine Formel den wahrscheinlichen Fehler einer beobachteten Declination nicht an, wie der sich nach den üblichen

Formeln der Fehler-Theorie ergeben würde. Mittelst meiner Formeln bekomme ich die folgenden Werte:

Wahrscheinlicher Fehler einer beobachteten Declination = $\pm\ 0.^{0}33$

Wahrscheinlicher Fehler einer beobachteten Inclination = $\pm\ 0.^{0}16$.

Um einigermassen ersichtlich zu machen wie die Curve erhalten wurde, habe ich durch ein × bezeichnet, wie die Curve verlaufen würde, wenn man die wirklich beobachteten Inclinationen und die correspondirenden Declinationen*) zu Grunde legen würde. Auch wurde durch ⊙ der Verlauf für die Epoche 1600—1780 nach den Hansteen'schen Karten entnommenen Daten angedeutet.

Man sieht, dass erst der Theil von ungefähr 1750 an ganz zuverlässig wird. Vorher können die Punkte der Curve im Durchschnitte leicht um 0.5 Grad in der Inclination und um ebenso viel in der Declination unrichtig sein.

Auf die folgenden Punkte möge jetzt aufmerksam gemacht werden:

1. Richtung des ganzen Verlaufes im Sinne des Uhrzeigers.

2. Asymmetrie der Curve in Bezug auf den wahren Meridian des Ortes (durch den Pfeil in der Figur angedeutet).

Die Curve liegt zum grössten Theil westlich vom Meridian.**)

3. Geometrische Gestalt der Curve. Darüber lässt sich noch nicht viel sagen. Als eine Annäherung könnte man gewiss einen Ellipsen-Bogen für den gezeichneten Theil substituiren. Dass es eine Ellipse wäre, ist aber nicht wahrscheinlich. Es ist auch keine einfache, geometrische Curve, sondern eine durch unzählige kleine Schwankungen, die die Hauptwelle stets begleiten, vielfach gekrümmte. Dies lässt sich noch leichter bei der Pariser Station erblicken. Es wäre auch sehr auffallend, wenn die Säcular-Curve eine einfache regelmässige wäre, während doch die täglichen und jährlichen Curven complicirt sind. Man findet auch an anderen Stationen Andeutungen von Schleifen vor.

4. Characteristische Punkte.

	Declination.		Inclination.	
	Betrag.	Epoche.	Betrag.	Epoche.
Minimum	$-11.^{0}0$	1580 ± 10	$-^{0}-$	— —
Maximum	+ 24.2	1812 ± 5	74.4	1688 ± 15
Mittel	7 (?)	1699 (?)	70.4 (?)	1817 (?)
Null	0.0	1658 ± 3		

Durch ± habe ich versucht näherungsweise anzugeben, um wie viel die angegebenen Zeiten unsicher sein mögen. Man sieht hieraus, dass die

*) Da die Inclinations- und Declinations-Beobachtungen nicht immer gleichzeitig gemacht wurden, konnte man nur näherungsweise verfahren.

**) In Theorien der Säcular-Variation trifft man häufig die Bemerkung, dass die Nadel symmetrisch um den Meridian sinusartig hin und her schwingt.

Epoche der maximalen Inclination ungefähr zwischen den Epochen der extremen Werte der Declination liegt. Diese Eigenthümlichkeit für London trat in den Formeln (2) und (3) dadurch auf, dass die Phasen sich nahezu complementär herausstellten. So fand man in Formel (2), $+ 112^\circ.7$ und in Formel (3) $23^\circ.0$ für den Phasenwinkel.*)

Die ganze Aenderung in der Declination beträgt ungefähr 35^0. Um dies mit der muthmasslichen Aenderung der Inclination, nämlich 8^0 (?), zu vergleichen muss man noch mit $\cos I_0$ multipliciren. Also $35 \cos I_0 = 35 \times 0.335 = 12^0$ etwa (Inclinations-Grade). Die gesammte Aenderung in der Declination ist also nicht viel grösser, als die in der Inclination sein mag, wie sich das auch aus der Gestalt der Curve ergiebt.

Die grösste jährliche Aenderung in der Declination, nämlich 13′,**) trifft man ungefähr zur Zeit der maximalen Inclination, ebenso die grösste jährliche Aenderung in der Inclination, etwa 3′, zur Zeit der extremen Declinationen. Zur Zeit eines Maximums oder Minimums ist sie gewiss Null.

5. Periode. Man kann nur sagen, dass das Zeitintervall zwischen dem Eintreten der maximalen östlichen und der maximalen westlichen Declination ungefähr 235 Jahre beträgt. Hieraus darf man nicht schliessen, dass dieser Zeitabschnitt ungefähr der halben Periode entsprechen würde, denn man kann gar nicht sagen, was die Nadel vor 1580 gemacht hat, oder was sie noch machen wird.†)

---

*) Aus (2) und (3) erhält man die Näherungsformel:

$$\frac{\delta^2}{(17.76)^2} + \frac{i^2}{(3.98)^2} = 1, \quad \text{wo } \delta = D - \overset{0}{6.24}, \quad i = I - \overset{0}{70.4}.$$

(Science, vol. XX. No. 506. p. 219.)

**) Um auf Inclinations-Grade zu reduciren, multiplicire mit $0.335 = \cos I_0$.

†) Als das Manuskript bereits druckfertig war, wurde mir freundlichst von Herrn Dr. Ad. Schmidt mitgetheilt, dass der wohlbekannte verstorbene Astronom Dr. Rudolf Wolf die Londoner Säcular-Curve untersucht hat. Diese Untersuchungen findet man in Wolf's Astronomischen Mittheilungen No. LXXII p. 249—256. Vierteljahrschrift der Naturforschenden Gesellschaft, Zürich, 1888. Wolf bediente sich einiger gesammelten Declinations- und Inclinations-Daten zu London, in dem Zeitraume 1580—1876 beobachtet. Er wandte die Quetelet'sche Methode (siehe p. 8) an, d. h. er bestimmt auf analytischem Wege denjenigen Kreiskegel, welcher mit dem wirklichen von einer frei aufgehängten Magnetnadel in dem Zeitraum 1580—1876 beschriebenen Kegel am besten übereinstimmt. Nach dem bereits Gesagten und aus Tafel I wird ersichtlich sein, dass dieses empirische Verfahren nicht zulässig ist. Jedoch gebührt Wolf's Arbeit die höchste Anerkennung, da er sich des grossen Vortheils der gleichzeitigen Behandlung beider Elemente im vollsten Maasse bewusst war, wie das aus seinen Schluss-Worten hervorgeht, dass „die Arbeit von Ernst Quetelet grössere Berücksichtigung zu verdienen scheint als ihr bisher meines Wissens zu Theil geworden ist.“ Es wird noch interessant sein, Wolf's Ergebnisse bezüglich der Londoner Säcular-Curve anzugeben. Durch Ausgleichung nach einem Kreiskegel findet er die mittlere Declination 10° 2′ W., mittlere Inclination, 70° 17′, Maximum der Inclination im Jahre 1703, Periode 502 Jahre und Radius des sphärischen Grundkreises 4° 4′. [Nachträglich hinzugefügt Dec. 11—94.]

Im Folgenden wollen wir die Daten zur Construction der Säcular-Curven für mehrere Stationen möglichst kurz angeben.

Paris.

Breite,*) $\varphi = 48^\circ 50'.2\ N$ Länge,*) $\lambda = 2^\circ 20'.2\ O$ von Greenwich.

Declination.

Felgentraeger hat in seiner schon mehrmals erwähnten Arbeit eine sehr sorgfältige Sammlung und Bearbeitung der Pariser Declinationen gegeben. Ich werde daher seine Formel adoptiren und für die Beobachtungen auf seine Arbeit verweisen. Für die Rechnung bequemer habe ich der Formel, die er auf p. 35 giebt, die folgende Form gegeben.

$$D = +\,6^\circ.521 + 16^\circ.151\, sin\, \alpha + 0^\circ.283\, sin\, (2\,\alpha + 71^\circ.37)$$
$$+\,0^\circ.166\, sin\, (3\,\alpha - 44^\circ.47) + 0^\circ.227\, sin\, (4\alpha + 44^\circ.51)$$
$$\text{wo } \alpha = 0^\circ.755\,(t - 1694.85) = 0^\circ.755\,(t - 1850) + 117^\circ.11$$

D ist wieder die Declination zur Zeit t, + wenn West, — wenn Ost. Die Formel gilt für die Epoche 1541—1890.

Paris: Inclination.

Datum	Beobachter	I_b	I_r	$\triangle$	g)†
		°	°	°	
1600	Hansteen's Karte	73.5	72.20	+ 1.30	0 25
1671.5	Richer	75.00	74.70	+ 0.30	0.5
1700.0	Hansteen's Karte	73.5	74.56	— 1.06	0.5
1754.7	La Caille	72.25	72.53	— 0.28	0.5
1776.5	Le Monnier	72.42	71.25	+ 1.17	0.5
1780.0	Hansteen's Karte	70.5	71.05	— 0.55	0.5
1780.5	Cassini	71.80	71.00	+ 0.80	0.5
1791.5	„	70.87	70.29	+ 0.58	0.5
1798.5	Bouvard und Humboldt	69.85	69.84	+ 0.01	0.5
1806.5	Humboldt	69.20	69.32	— 0.12	0.5
1813.0	Humboldt und Arago	68.68	68.88	— 0.20	1.0
1818 3	Arago und Freycinet	68.47	68.56	— 0.09	1.0
1823.4	„ „ „	68.19	68.25	— 0.06	1.0
1826.6	Arago, Humboldt, M. und B.*)	67.94	68.06	— 0.12	1.0
1831.2	Arago, Reich, Rudberg	67.69	67.79	— 0.10	1.0
1835.8	Duperrey, Lottin und d'Abbadie	67.41	67.54	— 0.13	1.0
1839.7	Fox, d'Abbadie, und Andere	67.20	67.30	— 0.10	1,0
1851.5	Annuaire Bur. de Long, und Andere	66.60	66.69	— 0.09	1.0
1857.4	De la Roche, Poncié und Lamont	66.38	66.40	— 0.02	1.0
1868.8	S. J. Perry und Observatorium	65.82	65.93	— 0.11	1.0
1879.0	Annuaire Bur de Long.	65.54	65.58	— 0.04	1.0
1885.0	„ „ „	65.30	65.41	— 0.11	1.0
1691.6	„ „ „	65 20	65.27	— 0.07	1.0

*) Observatoire de Paris.

**) Mathieu und Blosseville.

†) Braucht nur näherungsweise angenommen zu werden.

Hiermit stellte ich die folgende Formel auf:

$$I = 69^{0}.87 - 4^{0}.86 \sin [0^{0}.765 \, (t - 1850) + 39^{0}.8]$$

Hiernach wurden I_r und $\triangle = I_b - I_r$ berechnet.

Mittelst Formeln D und I wurde dann die folgende Tabelle erhalten:

Datum	D	I*)
	0	0
1540	— 8.2	+ 68.4 (?)
60	— 9.3	69.7 (?)
80	— 9.6	71.0 (?)
1600	— 8.8	72.2 (?)
20	— 6.9	73.2 (?)
40	— 4.42	74.0 (?)
60	— 0.86	74.6 (?)
80	+ 3.47	74.73
1700	+ 7 99	74.56
20	+ 12.27	74.06
40	+ 15.83	73 27
60	+ 18.76	72.23
80	+ 20.87	71.03
1800	+ 22 12	69.75
20	+ 22.40	68 47
40	+ 21 38	67 28
60	+ 19.54	66.29
80	+ 16 76	65.55
1890	+ 15.16	+ 65.27

Für D_0 wurde $+ 6^{0}.52$ und für I_0, $69^{0}.87$ gewählt. Hiermit ergiebt sich durch Anwendung der Formeln p. 13

$\rho_0 = r \, cotg \, I_0 = 0.3666 \, r$

$a = r \cos I_0 \, tang \, \delta = 0.3442 \, r \, tang \, (D - 6^{0}.52)$

Die Curve für Paris auf Tafel I wurde dann in ähnlicher Weise wie für London gezeichnet. Vom Jahre 1671—1890 ist die Curve wieder vollausgezogen worden, ausser alle 20 Jahre unterbrochen, da wir für diesen Zeitraum Beobachtungen beider Elemente besitzen. Vor dem Jahre 1671 wurde die Curve wieder gestrichelt. Wie wurde aber dieser Theil 1540 bis 1671 gezeichnet, wo wir doch nur eine Ordinate, nämlich Declination, besitzen? Auf die folgende Weise: Aus der Felgentraeger'schen Formel findet man, dass die Declination einen maximalen östlichen Wert von etwa $9^{0}.6$ ungefähr im Jahre 1580 erreichte. Die säculare Curve muss also vor 1671 so gestaltet gewesen sein, dass sie ungefähr im Jahre 1580 tangentiell zu der Ordinate, welcher einer Declination von etwa -10^{0} entspricht, verlief. Man kann also die Curve vom Jahre 1671 rückwärts fortsetzen, indem man sie tangentiell zur Declinations-Linie — $9^{0}.6$ zieht (siehe Curve). Thut man das, so erhält man nicht allein eine angenäherte Fortsetzung der Säcular-Curve, sondern man kann auch jetzt aus der Curve für den Zeitpunkt des Maximums der östlichen Declination eine Inclination von etwa 71^{0}**) ablesen. Man erhält also auf diese Weise Inclinationen für Zeitabschnitte, in denen keine Beobachtungen existiren. Es ist dies meines Wissens zum ersten Male gezeigt worden. Auch werden die so erhaltenen Werte vielleicht nicht mit einem grösseren Fehler (etwa $\pm 1^{0}$) behaftet sein als die im 16. und 17. Jahrhundert beobachteten Werte. So beobachtete z. B. Norman im Jahre 1676 zu London eine Inclination von $71^{0}.8$. Zieht man die magnetische Breiten-Differenz zwischen London und Paris in Betracht, so musste zu Paris eine Inclination von 70^{0}—71^{0} geherrscht haben, welches also gut mit dem Curven-Werte übereinstimmt. Meine Formel ergab für 1580: 71.0; ich hatte also einen Anhalt gewonnen,

---

*) Die mit dem Fragezeichen behafteten Werte sind extrapolirte.

**) Der Wert würde zwischen 70^{0} und 72^{0} schwanken.

dass die extrapolirten Werte bis zum Jahre 1580 nicht erheblich unrichtig sein könnten. Der Theil 1580—1670 konnte also mittelst der berechneten Werte gezeichnet werden. Vor 1580 muss die Curve sich von links dem Tangenzpunkt genähert haben, da die östliche Declination vom Jahre 1540 bis 1580 stets im Ansteigen war.

Also für das Intervall 1540 — 1890 = 350 Jahre ist das Nordende der Magnetnadel stets im Sinne des Uhrzeigers gewandert.

Die Asymmetrie der Curve in Bezug auf die Null-Declinationslinie oder den astronomischen Meridian bemerkt man auch hier wieder. Der grösste Theil liegt westlich vom Meridian. Hier treten die kleineren Wellen auch sehr hübsch hervor. Paris scheint mehr kreisförmig zu sein als London, d. h. die muthmassliche Aenderung in Inclination, 9°—10°, ist dem absoluten Betrage nach ungefähr gleich der gesammten Aenderung in Declination [32° etwa]*). Man glaubt gewöhnlich, dass die Inclinations-Aenderung nicht so gross als die Declinations-Aenderung ist. Man vergisst aber, dass man es mit anderen Graden zu thun hat und man deshalb erst die Beträge auf eine gemeinsame Skala reduciren muss, ehe der Vergleich gemacht werden kann.

Die Characteristischen Punkte ergeben sich wie folgt:

	Declination		Inclination	
	Betrag	Epoche	Betrag	Epoche
	°		°	
Minimum	— 9.6	1580 ± 10	— — —	— — —
Maximum	+ 22.6	1809 ± 5	74.7**)	1680 ± 15
Null	0.0	1664 ± 3		

Hieraus ergiebt sich, dass auch für Paris die Epoche der maximalen Inclination ungefähr zwischen den Epochen der extremen Declinationen

*) Declinations-Aenderung reducirt auf Inclinations-Grade:

$$32^0 \cos I_0 = 32^0 \times 0.344 = 11^0.0$$

**) Vergleicht man diesen Wert mit demjenigen für London p. 20, so ersieht man, dass der Wert für London zu klein oder der Wert für Paris zu gross ist. London wegen seiner höheren magnetischen Breite sollte einen grösseren Wert (1—2°) als Paris besitzen. Die Ursache, dass die Formeln das Entgegengesetzte lieferten, rührt daher, dass, wie schon bemerkt auf p. 17, die Londoner Inclinationen 1576—1723 etwas (vielleicht wegen Lokal-Störung) zu klein erscheinen, oder auch dass die Beobachtung von Richer im Jahre 1671 zu Paris um 1°—1°.5 zu hoch ist. Hansteen glaubte das erstere annehmen zu müssen; es scheint mir aber auch, dass das letztere der Fall sein könnte. Diese Sache ist aber nunmehr schwer zu controlliren. Da der Hauptzweck dieses Capitels die Bestimmung der Richtung der säcularen Bewegung der frei aufgehängten Magnetnadel ist, und diese kleinen Anomalien auf die Richtung keinen merklichen Einfluss haben können sondern höchstens die Curve ein wenig nach unten oder nach oben verschieben, so werde ich einstweilen die Formeln für London und Paris stehen lassen.

liegen mag und dass man etwa zur Zeit dieses maximalen Wertes der Inclination die grösste Aenderung in der Declination vorfindet.

Das Intervall zwischen den extremen Werten der Declination mag etwa 230 Jahre betragen.

Rom.

Breite: $41^0 53'.2$ Länge: $12_0 26'.2$ Ost. v. Greenwich.

Die Säcular-Curve für diese Station wird eine der interessantesten sein, welche ich in dieser Arbeit geben werde. Man kann nämlich die Curve an dieser Station am weitesten rückwärts fortsetzen.

Declination.

Felgentraeger machte eine sorgfältige Sammlung*) und stellte die folgende Formel auf, die ich wieder für die Rechnung bequemer umgeformt habe:

$$D = + \overset{0}{3.847} + \overset{0}{14.347}\, sin\, \alpha + \overset{0}{1.149}\, sin\, (2\, \alpha + \overset{0}{82.55})$$

$$\alpha = \overset{0}{0.755}\, (t - 1685) = \overset{0}{0.755}\, (t - 1850) + \overset{0}{124.5}$$

Nach dem Autor der Formel gilt sie für die Epoche 1508—1888.

Inclination.

Datum	Beobachter	I_b	I_r	Δ	g
1640.5	Kircher	65.67^0	66.01^0	-0.34^0	0.25
1700.5	Hansteen's Karte	67.	66.86	+ 0.14	0.25
1780.5	» »	65.	63.89	+ 1.11	0.25
1806.5	Humboldt	61.95	62.31	— 0.36	0.50
1839.6	Bache, d'Abbadie und Quetelet	60.25	60.34	— 0.09	1.00
1842.5	Sabine	60.10	60.18	— 0.08	1.00
1847.5	— —	59.82	59.90	— 0.08	1.00
1859.0	Secchi	59.20	59.31	— 0.11	1.00
1875.5	Perry	58.85	58.59	+ 0.26	1.00
1891.0	Denza, Moureaux	58.09	58.07	+ 0.02	1.50

Die Formel**), die ich hiermit aufstellte, lautet:

$$I = \overset{0}{62.24} - \overset{0}{4.68}\, \sin\, [\overset{0}{0.755}\, (t - 1850) + \overset{0}{31.95}]$$

---

*) In seiner Dissertation gegeben Seitdem ist eine vollständigere Sammlung, und zwar beider Elemente, von P. F. Denza in „Publicazioni della Specola Vaticana Fascicolo III, pp. 106–143, Roma, 1893“, erschienen.

**) Denza's Sammlung kam mir erst, nachdem ich meine Formel aufgestellt hatte, zur Kenntniss. Denza füllte aber auch nicht die grosse Lücke zwischen Kircher's und Humboldt's Beobachtungen aus. Die Beobachtungen, die ich nicht hatte, fielen fast alle zwischen 1830—90. Meine Formel wird dann wohl nicht viel zu zu verbessern sein.

Mittelst Formeln für D und I erhielt ich dann die folgende Tabelle:

Datum	D	I*)
	°	°
1508	— 6.53	+ 58.8 (?)
1520	— 8.23	59.4 (?)
40	— 10.47	60.5 (?)
60	— 11.61	61.7 (?)
80	— 11.41	62.9 (?)
1600	— 9.88	64.1 (?)
20	— 7.29	65.1 (?)
40	— 3.86	66.00
60	+ 0.01	66.59
80	+ 4.01	66.89
1700	+ 7.77	66.87
20	+ 11.02	66.52
40	+ 13.63	65.88
60	+ 15.51	64.99
80	+ 16.64	+ 63.91

Datum	D	I
	°	°
1800	+ 17.06	62.71
20	+ 16.77	61.49
40	+ 15.84	60.31
60	+ 14.23	59.26
80	+ 11.77	58.43
90	+ 10.57	58.10

Es wurde

$I_0 = 62^\circ$ und $D_0 = + 4^\circ$ genommen.

Hiernach ist:

$$\rho_0 = r \, cotg \, I_0 = 0.5317 \, r$$

$$a = r \cos I_0 \, tang \, \delta$$

$$= 0.4695 \, r \, tang \, (D - 4^\circ)$$

Mit diesen Daten ist die Curve auf Tafel I construirt worden. Der Theil 1640—1890, da wir Beobachtungen beider Elemente haben, bietet keine Schwierigkeit. Nach der Formel für D ergiebt sich das Maximum der östlichen Declination von 11°.6 ungefähr im Jahre 1570. Hiermit verlängere man wieder die Curve rückwärts vom Jahre 1640 bis zum Jahre 1570 in ähnlicher Weise wie bei Paris. Aus der verlängerten Curve ergiebt sich eine Inclination im Jahre 1570 von etwa 62°.**) Meine Formel ergiebt 62°.3, ich kann sie also ruhig bis zu diesem Zeitpunkte benutzen. Da man aus der Tabelle erblickt, dass die östliche Declination vor 1570 im Ansteigen begriffen war, so musste die Curve sich von links dem Berührungspunkte der Curve mit der Declinationslinie — 11°.6 genähert haben.

Also für nahezu 400 Jahre (1508—1890) bewegte sich das Nordende einer frei beweglichen Magnetnadel im Sinne des Uhrzeigers.

Nun wollen wir versuchen, die Curve noch weiter rückwärts zu verfolgen. Es ist bekannt, dass im 14ten und 15ten Jahrhundert, da zu dieser Zeit die magnetische Declination nicht bekannt war, die Seekarten nach den Compass-Richtungen gezeichnet worden sind, und hierdurch die berühmten sogenannten „Compasskarten" entstanden. Die besten von diesen Karten sind die von Andrea Bianco vom Jahre 1436. Bianco's Atlas wurde einer sorgfältigen Untersuchung von Peschel***) unterworfen. Er fand, dass die

*) Die mit dem Fragezeichen behafteten sind extrapolirte Werte.

**) Diese Inclination von 62° ± 1°.5 im Jahre 1570 wird wohl eine der ältesten sein, die uns bekannt geworden ist.

***) Der Atlas des Andrea Bianco vom Jahre 1436 in zehn Tafeln. Photographische Facsimile in der Grösse des Originals, vollständig herausgegeben von Max Münster und mit einem Vorworte versehen von Oscar Peschel — Venedig, H. F. M. Münster, 1869.

Entfernungen von Ort zu Ort in überraschender Weise mit einander harmonierten; jedoch die Orte standen nicht immer in den ihnen zukommenden Breitenkreisen. So z. B. waren Orte im West-Mittelmeer in demselben Breitenkreis wie Orte im Ost-Mittelmeer, die thatsächlich ein niedrigere geographische Breite besassen. Mit anderen Worten, man hatte die Orte nach magnetischen Meridianen und nach magnetischen Breiten aufgezeichnet. Peschel machte aufmerksam, dass man hieraus Kenntnis über die damalig herrschenden Declinationen erhalten könnte. Das habe ich gethan. Ich bestimmte den Winkel, um welchen für Rom die Karte gedreht (im *ENW* Sinne) werden musste, so dass die Orte in die richtigen Breitenkreise fielen, und fand den Wert 5° Ost.*) Also die magnetische Declination zu Rom im Jahre 1436, wahrscheinlicher vorher, (da die Karten unzweifelhaft aus Material, das sich über viele Jahre erstreckte, verfertigt wurden) war etwa 5° Ost.

Wir wollen jetzt sehen, was diese Declination zur Folge hätte. Die Declinations-Formel, welche die Beobachtungsreihe 1508—1888 sehr gut befriedigte, ist im Wesentlichen eine Sinus-Curve, da das 2. Glied im Maximo nur $\frac{1.15}{14.35} = \frac{1}{13}$ des erstes Gliedes beträgt. Wenn wir also eine einfache, geschossene Curve bekämen, deren Umlaufszeit ungefähr zweimal dem Zeitintervalle zwischen einer minimalen und einer maximalen Declination beträgt, dann sollte die *D*-Formel für Rom, welche aus Beobachtungen herrührt, die sich nahezu über $^3/_4$ der Gesammtperiode erstrecken, auch einigermassen zuverlässige Werte liefern für das Intervall, nachdem die Beobachtungen beginnen. Wir nehmen also an, dass die Formel noch bis zum Jahre 1400 gültig wäre. Für 1400 erhalten wir dann mittelst der Formel, 12°.4 West, für 1436, 6°.9 West. Im günstigsten Falle, dass der aus den Compass-Karten erhaltene Wert für 1136 gelte, ist der Unterschied zwischen Karte und Formel 12°.

Für 1400 ist der Unterschied 17° und für frühere Zeitpunkte noch mehr, da die Formel rückwärts vom Jahre 1570 bis zum Anfange des 14ten Jahrhunderts ein Ansteigen zu einem Maximum der westlichen Declination bedingen würde.

Woher rührt diese grosse Abweichung zwischen Karte und Formel? Ist der Formel-Wert richtig, dann hätten die Breitenkreise auf den Bianco'schen Karten im anderen Sinne falsche sein sollen, d. h. die Orte im Ost-Mittelmeer, die thatsächlich eine höhere Breite besassen, sollten unter denselben Breiten stehen wie die Orte im West-Mittelmeer, denen in Wirklichkeit eine niedrigere Breite zukamen; statt dessen findet man gerade das Umgekehrte. Es ist kaum anzunehmen, dass die Compasse damals, wo man keine eiserne Schiffe besass, um 12° und mehr falsche Werte lieferten. Einen Fehler von 5°—6° könnte man wohl annehmen, aber das reicht immer noch nicht aus. Auch darf man nicht annehmen, dass die Compasse für

*) Um diesen Winkel zu bestimmen, wurde die Bianco'sche Karte, welche man in E. Mayer's „Die Entwickelung der Seekarten, Wien 1877" vorfindet, benutzt.

die Missweisung corrigiert waren, wie das später der Fall, als man Kenntniss von der Missweisung hatte, war.*) In diesem Falle hätte auch die Karte eine Declination von Null für Rom ergeben sollen. Es scheint mir nichts Anderes übrig zu bleiben als voraus zu setzen, dass die Declination im 14ten und 15ten Jahrhundert nicht nach dem der Formel entsprechenden Gesetze sich änderte, sondern einem anderen Gesetze folgte. Man könnte den Gang einigermassen sich so vorstellen. Am Anfange des 16ten Jahrhunderts wich die Nadel 5° bis 6° nach Ost. Wenn wir dann die Bahn rückwärts verfolgen, so nahm die östliche Declination zuerst ab, blieb dann einige Jahre unverändert, kehrte sich dann um und nahm dann wieder zu und hatte im Jahre 1400 etwa den Wert 5° wieder erreicht. Mit anderen Worten, es spielte sich anscheinend im 14ten und 15ten Jahrhundert eine kleine Schleife**) ab.

Ich will nicht behaupten, dass ich unzweifelhaft bewiesen habe, dass so eine Schleife wirklich ins Spiel trat. Ich glaube aber sagen zu dürfen, dass eine Andeutung einer Schleife bei der Rom Säcular-Curve vorhanden ist. Es wird auch nachgewiesen werden, dass mehrere solcher Andeutungen vorhanden sind.***)

Es bleibt nur noch übrig, die characterischen Eigenschaften der Säcular-Curve für Rom anzugeben.

---

*) Der Atlas von Bianco sollte nach Humboldt (Kosmos IV, p. 53, 133) Aufzeichnungen von magnetischen Beobachtungen besitzen. Peschel wies aber nach, dass dies ein Irrthum sei. Humboldt selbst hatte den Atlas nicht gesehen, sondern verliess sich auf Formaleoni, der die Karten untersuchte, aber durch ein Diagramm auf der ersten Karte sich irre führen liess. Peschel sagt: „Es ist also nicht aus dem Atlas ersichtlich, dass die italienischen Seefahrer die Missweisung schon bemerkt hätten, vielmehr gewahren wir deutlich aus ihren Bildern, dass sie die Missweisung der Magnetnadel vernachlässigten und ihre Gemälde dadurch entsprechend verzerrten.“ Wegen dieses Irrthums von Formaleoni, welcher sich leider in den Kosmos hineinschlich, ist es immer noch nicht allgemein anerkannt, dass man Declinations-Beobachtungen vor Columbus' berühmter Beobachtung vom 13. September 1492 nicht vorfindet. So ist auch die dem Petrus Peregrinus zugeschriebene Declination von 5° Ost zu Rom, die im Jahre 1269 beobachtet sein sollte, als vom 16. Jahrhundert herrührend, längst nachgewiesen worden.

**) Es ist vielleicht dieser Umstand Schuld gewesen, dass die Declination nicht früher entdeckt wurde. Ist es nicht merkwürdig, wenn die Declination im 14. Jahrhundert 12° bis 18° West betrug, was ein einfaches Fortschreiten der Nadel bedingen würde, und was zur unmittelbaren Folge hätte, dass die ersten Compasskarten und die letzten um etwa 12° in den aufgezeichneten Richtungen von einander sich unterschieden haben müssten, dass die Missweisung des Compasses nicht in die Augen fiel? Die Declination war vielleicht thatsächlich im 13.—15. Jahrhundert sehr gering.

***) Vor einigen Jahren theilte mir auch Herr Schott mit, dass die Declination-Formeln, die er für verschiedene Punkte im östlichen Theil der Vereinigten Staaten aufgestellt hat, nicht für das 16. und für das 17. Jahrhundert zu gelten scheinen, als ob etwa um diese Zeit die Säcular-Curve der Declination nach einem anderen Gesetze sich abspielte.

	Betrag °	Epoche
Maximum der östlichen Declination	11.6	1570 ± 15
Maximum der westlichen Declination	17.1	1810 ± 5
	28.7	240
Null Declination	0.0	1660 ± 3
Maximum der Inclination	66.9	1690 ± 15

Hier findet man also wieder die Epoche der maximalen Inclination ungefähr in der Mitte der extremen Declinations - Epochen und man wird wieder um diese Zeit etwa die grösste jährliche Aenderung in Declination vorfinden. Es ergiebt sich dies auch aus dem Phasenwinkel; in Formel *D* haben wir 124°.5, in der *I* Formel 32° — sind also nahezu complementär.

Die mittlere Declination ist auf 4° W. gefallen, oder die Asymmetrie der Curve ist kleiner geworden, als wir weiter nach Osten wanderten. Wir werden finden, dass diese Verschiebung systematisch vor sich geht und dass wir sie von Ort zu Ort verfolgen können.

Fayal-Insel, Azoren.

Breite*): 38° 32′ N. Länge*): 28° 39′ W. von Greenwich.

Declination.

In der Nähe von diesen Inseln wurde die berühmte Beobachtung von Columbus am 13. September 1492 gemacht, wonach die Missweisung des Compasses von einer östlichen zu einer westlichen überging. Wie schon bemerkt, ist das die erste Beobachtung der Missweisung, die zu unserer Kenntniss gelangt ist und wonach Columbus als muthmasslicher Entdecker der Declination mit Recht betrachtet werden kann. Der Ort, wo diese Null-Missweisung stattfand, ist von Schott in Breite 28°.35 N. und Länge 29°.27 W. von G. verlegt worden**). Hiernach musste die Declination an der obigen angenommenen Station etwa 1° bis 2° Ost gewesen sein. Nach Schott begnügte sich Columbus die Missweisung innerhalb 5° oder 6° zu notiren.†)

Wir nehmen also an:

Declination in 1492.7 sei = — 1.5 ± 6°.

Ich will nur noch eine Beobachtung vom 16. Jahrhundert herrührend angeben, weil sie die zuverlässigste ist, und ich sie noch in keiner Sammlung der Declinationen vorgefunden habe. Sie rührt von dem berühmten Instrumentenmacher Robert Norman her.††) Norman bestimmte die

---

*) Position der Stadt Horta, nach Schott, U. S. C. and G. S. Bull. 23.

**) U. S. Coast and Geodetic Survey Report 1888, App. 7, p. 305.

†) U. S. Coast and Geodetic Survey, Bull. No. 29, p. 83—84.

††) Wie bekannt machte Norman die erste Inclinationsbestimmung. (Siehe Londoner Inclinationen.) Er gab sich grosse Mühe, alle bis dahin bekannten Declinationen zu sammeln und besonders die Beobachtungsfehler der Compasse zu bestimmen, die sehr von einander differirten, da man damals die Compasse nach der Missweisung des Ortes, wo der Compass gebraucht werden sollte, zu corrigiren pflegte. Siehe Robert Norman's „Newe Attractive", abgedruckt in W. Whiston's

Declination auf der Insel St. Michael (Breite, 37°.8, Länge, 25°.7) nicht mit einem Compass, sondern mit einer „bare needle“ und fand 4°50′ Ost. Dagegen die Compasse ergaben ungefähr Null. Da man damals glaubte, die Declination an einem Orte sei unveränderlich, gab Norman nicht das Datum seiner Beobachtung an. Doch aus dem Text glaube ich annehmen zu dürfen, dass dies unweit vom Jahre 1576 geschah. Wir nehmen dann an, die Beobachtung, reducirt auf die obige Station, ergebe:

Declination in 1575 ± 1.5 = − 4°.8 ± 1°.

Schott hat nahezu eine vollständige Sammlung der Beobachtungen 1589—1890 gemacht und hat die folgende Interpolationsformel aufgestellt,*)

$$D = +12^{\circ}.43 + 14^{\circ}.97 \; sin \; [0.^{\circ}750 \; (t - 1850) + 88^{\circ}.6]$$

welche die angeführten Daten verhältnissmässig gut befriedigt.

Nehmen wir jetzt an, dass die Formel noch zur Zeit von Columbus' Beobachtung gilt, so erhalten wir für 1492.7 die Declination + 12°. Die Beobachtung ergab aber — 1°.5 ± 6. Im günstigsten Falle wäre die Differenz zwischen diesen zwei Werten 8°. Trage ich meine gesammelten Daten graphisch auf, so tritt ein systematischer Unterschied zwischen Formel und Beobachtung in der Epoche 1492 - 1590 auf. Es scheint mir, als ob man wieder eine Aenderung des Gesetzes der Declinations-Säcular-Variation vor sich hat. Mit anderen Worten, die Andeutung von einer Schleife tritt hier wie bei Rom hervor.

Inclination.

Meine gesammelten Daten habe ich folgendermassen verwerthet.

Datum	Beobachter	I_b	I_r	$\triangle$	g
		°	°	°	
1775.53	Cook	+ 71.02	70.51	+ 0.51	0.5
1805.5	Humboldt	67.20	68.75	— 1.55	0.5
1831.5	Austin, Foster.	68.57	67.11	+ 1.46	0.5
1850.5	„Rattelsnake“	65.88	65.93	— 0.05	0.75
1873.52	„Challenger“	64.95	64.69	— 0.26	0.5
1880.68	Thorpe	63.64	64.35	— 0.71	1.0
1889.84	U. S. C. and G. S.	+ 64.23	63.96	— 0.27	1.5

„Longitude und Latitude found by the Inclinatory or Dipping Needle“, London 1721 Norman's Musterwerkchen wurde zuerst in Verbindung mit Borough's, „Discours on the Variation of the Compass“, London 1581, veröffentlicht. Norman giebt hier an, wie er die Inclination entdeckte und wie er sie bestimmte. Er bemerkt ausdrücklich, dass die Inclination in der Ebene des magnetischen Meridians gemessen werden muss. Günther offenbar war nicht mit dieser Thatsache bekannt, da er in seiner Broschüre über „Johannes Kepler und der Tellurisch-kosmische Magnetismus“, Wien 1888, p. 23, diese Ehre Kepler (1596) zuschrieb.

Es sei noch gestattet in dieser Verbindung aufmerksam zu machen, dass man die ersten gezeichneten Isoclinen und die ersten Intensitäts-Beobachtungen in Whiston's Werk vorfindet. Whiston's Verdienste auf diesem Gebiete scheinen ganz in Vergessenheit gerathen zu sein. Siehe W. Felgentraeger: „Die Isoklinen-Karte von Whiston“ in „Nachr. d. Kgl. Gesell. der Wiss. zu Göttingen“, Math.-phys. Klasse 1894, No. 2. Ferner L. A. Bauer: „The Earliest Isoclinics and Observations of Magnetic Force“, Philosophical Society of Washington, Bull. vol. XII. pp. 397—410.

*) U. S. C. and G. S. Bulletin 23.

Hiermit die Formel:

$$I = 67^\circ.80 - 4^\circ.87 \; sin \, [0^\circ.75 \, (t - 1850) + 22^\circ.1]$$

Die Differenzen $\triangle$ sind etwas erheblich. Es rührt dies daher, dass die Reduction auf eine gemeinsame Station nicht leicht ist, auch sind locale Störungen vorhanden. Unter diesen Umständen muss man die Formel als befriedigend betrachten. Die Formel ergiebt den Wert 72°.6 im Jahre 1700; nach Hansteen's Isoclinen-Karte erhielte man 72°.3. Man könnte also die Formel für das Zeit-Intervall 1700—1890 als gültig annehmen.

Mittelst der Formeln D und I wurde die Säcular-Curve vom Jahre 1775—1890 gezeichnet. Für D_0 wurde + 12°.5, für I_0 68° gewählt. Es ist dann $\rho_0 = 0.4040 \, r$ und $a = 0.3746 \; tang \, (D - 12^\circ.5)$. Ich hätte auch die Curve rückwärts verlängern können in ähnlicher Weise wie für Paris und Rom; da aber hierdurch nichts Neues zum Vorschein kommen würde, habe ich gegenwärtig darauf verzichtet.

Es mag noch erwähnt werden, dass man nach Formel für D findet:

Ein Maximum östlicher Declination von	2°.5	etwa im Jahre	1612
Ein Maximum westlicher Declination von	27.4	etwa im Jahre	1852
	29.9		240

Nach Formel für I findet man:

Ein Maximum der Inclination von 72°.6 (?) etwa im Jahre 1700 (?).

Die Phasenwinkel sind für D: 88°.6, für I: 28°.1, also hier nicht nahezu complementär.

Boston und Cambridge. U. S. A.

Breite: 42°22'.2 N Länge: 71°05'.8 W. von Greenwich.

Declination.

Die Beobachtungen sind von Schott gesammelt worden.*) Er stellte die folgende Formel auf:

Für Cambridge: $D = + 9^\circ.54 + 2^\circ.69 \; sin \, [1^\circ.30 \, (t - 1850) + 7^\circ.0] + 0^\circ.18 \; sin \, [3^\circ.2 \, (t - 1850) + 44^\circ]$

Für Boston: $D = + 9.48 + 2.94 \; sin \, [1^\circ.30 \, (t - 1850) + 3^\circ.7]$

Diese Formelm wurden aus Beobachtungen vom Jahre 1700—1880 abgeleitet und geben die Daten befriedigend wieder. Da diese Stationen nahe an einander liegen, werde ich für meine Curve die Mittelwerte aus den obigen Formeln wählen.

Inclination.

Die Daten sind von Schott gesammelt worden und die folgende Formel wurde aufgestellt.**)

$$I = 74^\circ.35 + 0^\circ.0120 \, \triangle\tau - 0^\circ.000126 \, \triangle\tau^2 - 0^\circ.000350 \, \triangle\tau^3$$
$$\triangle\tau = (t - 1850)$$

Diese Formel gilt für das Mittel der zwei Stationen und für die Epoche 1840—1880. Da man, als diese Formel abgeleitet wurde, noch

*) U. S. Coast and Geodetic Survey Report, 1888, App. 7, p. 198—200, 224—238

**) U. S. Coast and Geodetic Survey Report, 1885, App. 6, p. 258—265.

nicht die Gestalt der Säcular-Curve kannte, wie sie in dieser Arbeit zum ersten Male niedergelegt worden ist, so glaubte Schott annehmen zu sollen, dass die früheren Beobachtungen von Williams für 1780.9, $69^{\circ}.85$, für 1782.4, $69^{\circ}.68$, und für 1783.9, $69^{\circ}.68$, unsicher sind, und benutzte sie deswegen nicht zur Ableitung seiner Formel. Zeichnet man aber die säculare Curve, dann gewinnen diese Beobachtungen an Wahrscheinlichkeit. Etwa im Jahre 1780 erreichte nämlich die Declination einen minimalen westlichen Wert von $+6^{\circ}.7$. Vor diesem Jahre war die westliche Declination im Abnehmen, nach diesem Jahre in Zunehmen begriffen. Die Säcular-Curve musste also so verlaufen sein, dass sie etwa im Jahre 1780 tangentiell zur Declinationslinie $+6^{\circ}.7$ war. Benutzt man jetzt die Methode, die ich für Paris und Rom erläuterte, verlängert man nähmlich die Curve vom Jahre 1840 (wo die Inclinationen anfangen, die Schott benutzte) rückwärts bis zum Jahre 1780, indem man sie tangentiell zur Diclinationslinie $+6^{\circ}.7$ zeichnet, und liest alsdann die Inclination zum Wendepunkt im Jahre 1780 ab, so erhält man einen Wert, der etwa zwischen 69° und 71° liegen würde. Williams Beobachtung für 1780 giebt nahezu 70°, sie kann also nicht erheblich falsch sein. Nimmt man umgekehrt die Williams'che Beobachtung an und zeichnet hiermit die Curve für das Intervall 1780—1885, so findet man, dass die Richtung der Bewegung im Sinne des Uhrzeigers folgt, dass also die Curve mit allen gezeichneten in dieser Hinsicht übereinstimmt und deshalb an Wahrscheinlichkeit gewinnt.**)

Die Curve ist für den östlichen Theil der Vereinigten Staaten typisch. Wie gänzlich verschieden sie von den Europaischen Stationen ist, die etwa in demselben Breitenkreis liegen! Schon der blosse Anblick lehrt, wie schwierig es wäre, diese Curve mit den erwähnten in Einklang zu bringen unter der Annahme, dass die Säcular-Curve eine einfache geschlossene wäre, wenn die Säcular-Periode auf der ganzen Erde dieselbe ist. Diese Unvereinbarkeit will ich noch deutlicher darlegen.

Die Formel-Werte sind für diese Station:

Datum	D	I*)
	0	0
1700	+ 10.0	— —
20	+ 8.7	— —
40	+ 7.71	— —
60	+ 6.98	— —
80	+ 6.68	+ 69.7
1800	+ 7.00	70.9
20	+ 7.88	72.9
40	+ 9.15	74.25
60	+ 10.48	74.42
80	+ 11.53	73.65
85	+ 11.7	+ 73.12

Zur Construction der Curve wurde gewählt $D_0 = 9^{\circ}.5$ und $I_0 = +72^{\circ}$.

Hiermit ist

$$\rho_0 = 0.3249\, r$$

$$a = 0.3090\, r \tan g\, (D - 9^{\circ}.5)$$

Die Formel für D bedingt ein Maximum der westlichen Declination von circa $12^{\circ}.3$ in den Jahren 1642 und 1919. Da diese Epochen ausserhalb unserer Beobachtungsreihe fallen, so besitzen wir keinen anderen Anhaltspunkt als die Formel. Die Formel

*) Diese Columne erhielt ich mittelst der Beobachtungen von Williams 1780 bis 84, und Schott's Formel, durch graphische Interpolation.

**) Vor Kurzem hatte ich das Glück eine noch ältere Inclination für Boston zu entdecken, welche höchst wahrscheinlich die älteste Inclination ist, wovon wir

bedingt aber auch ein Minimum von + 6°.7 im Jahre 1780, welches unsere Reihe thatsächlich aufweist. Wenn es mir also gelingt, höchst wahrscheinlich zu machen, dass ein Maximum westlicher Declination in der ersten Hälfte des nächsten Jahrhunderts zu erwarten sei, dass also das Intervall zwischen einem Minimum und einem Maximum 1919 — 1780 = 139 Jahre beträgt, statt 230—240 wie bei London, Paris und Rom, so habe ich bewiesen, dass, falls die Felgentraeger'sche Säcular-Periode von 477 Jahren für die ganze Erde richtig sei, man nicht schlechtweg das Intervall zwischen den extremen Werten mit zwei multipliciren kann um die volle Periode zu erhalten, welches thatsächlich die implicite Voraussetzung gewesen sein musste, um die Periode von 477 Jahren aus Beobachtungsreihen, die sich nur ein wenig über die Epochen der extremen Werte erstreckten, abzuleiten.

Ist die Periode von 477 Jahren richtig, dann musste entweder das erste Maximum der westlichen Declination nicht im Jahre 1642, wie es die Formel bedingt, eingetreten sein, sondern im Jahre 1780 — (477 — 139) = 1442, oder man muss annehmen, dass die Säcular-Curve nicht einfach geschlossen ist, sondern Schleifen enthält, und dass vielleicht die Curve, die wir vor uns haben, diese Schleife ist.

Jetzt wollen wir versuchen, die Gründe anzugeben, weshalb ein bevorstehendes Maximum im Anfang des nächsten Jahrhunderts zu erwarten sei. Zunächst zeigt die Tabelle der Formelwerte, dass vom Jahre 1780, wo die jährliche Aenderung der Declination Null war, diese jährliche Aenderung stetig stieg, bis sie einen maximalen Wert zwischen den Jahren 1840—1860 erreicht hatte, und jetzt wieder im Abnehmen begriffen ist, sodass sich also die Deklination einem maximalen Wert nähert. In etwa 70 Jahren also hatte die jährliche Aenderung ihren maximalen Betrag erhalten. Schlägt

---

Kenntniss in den Vereinigten Staaten Nord-Amerika's haben. Ich habe dies meinem hochverehrten Freunde Prof. Cleveland Abbe, welcher mich auf das folgende Werk von W. Whiston über „The Calculation of Solar Eclipses without Parallaxes × × × × with an Account of some late Observations made with Dipping Needles, in order to discover the Longitude and Latitude at Sea. 8°. London 1724" aufmerksam machte, zu verdanken. Das Werkchen wurde in der Kgl. Bibliothek zu Berlin vorgefunden und da es von mir in einer zweiten Mittheilung an die Philosophical Society of Washington besprochen werden soll, so werde ich mich hier mit einer blossen Angabe der beobachteten Inclination zu Boston begnügen: Inclination zu Boston von Capitain Othniel Beal beobachtet 68° 22′ (p. 92). Datum 1722$^2/_3$ (p. 84). Es wurden mehrere Beobachtungen auf der See in der Nähe von Boston und im Hafen gemacht und die direkte Methode der Winkelbestimmung sowie die indirekte Methode, die Inclination aus Schwingungen in der Horizontal- und in der Vertical-Ebene zu bestimmen, angewandt. Whiston wird wahrscheinlich der Entdecker dieser indirekten Methode sein. (Siehe erste Mittheilung an Phil. Soc of Wash. Vergleiche Fussnote p. 30.) Also Inclination zu Boston im Jahre 1722.7 ist 68°.37 ± 1°. Aus oben stehenden Formeln erhält man Declination für 1722.7, 8°.55 W. Hiermit habe ich jetzt die Säcular-Curve bis zum Jahre 1722 verlängert und man sieht hieraus, dass für mehr als 150 Jahre die Säcular-Curve auch in den Vereinigten Staaten Nord-Amerika's im Sinne des Uhrzeigers sich abgespielt hat. [Nachträglich hinzugefügt. Dec. 12—94].

man die Säcular-Curve nach, so findet man aber, dass ungefähr zur selben Zeit die Inclination ein Maximum erreicht hatte. Man könnte also erwarten, dass dieser Zeitpunkt in der Mitte liegt zwischen dem vorangegangenen Declinations-Minimum und dem kommenden Declinations-Maximum, wie das der Fall bei London, Paris und Rom war.

Zweitens kann man das Fortschreiten einer Minimums- oder Maximums-Phase von Ort zu Ort verfolgen. Im allgemeinen kann man annähernd sagen, dass das zeitliche Fortschreiten von Ost nach West erfolgt. Es ist das der Fall für einen grossen Theil Asiens, Europas, des Atlantischen Oceans und der Vereinigten Staaten*). Für kein Land ist das Fortschreiten einer Phase so gründlich untersucht worden, wie für den letztgenannten Erdtheil. Es wurde dies von der Coast and Geodetic Survey unter Schott's trefflicher Leitung gemacht**). Aus dieser Arbeit geht hervor, dass die Phase des Declinations-Minimums, welches, wie wir sahen, im Jahre 1780 zu Cambridge eintrat, etwas mehr als 100 Jahre gebrauchte, bis sie sich in Californien einstellte †).

Nun ist das Declinations-Maximum bereits im Jahre 1875 in Saint John's (Newfoundland) eingetreten, für Charlottetown sollte es nach der Formel im Jahre 1884, für Eastport nach der Formel im Jahre 1897 eintreten. Ob es für die letztgenannten Stationen eingetreten ist oder im Eintreten begriffen ist, ist aus Mangel an Beobachtungen nicht festzustellen.

Da die Phase sich für St. John schon eingestellt hat, so steht es auch zu erwarten, dass, wie es mit der Minimums-Phase geschah, auch die Maximums-Phase sich fortpflanzen wird. Hiernach müsste man ein Declinations-Maximum in der ersten Hälfte des nächsten Jahrhunderts erwarten.

---

*) An den Ost-Küsten Asiens scheint eine Reflex-Welle, die sich in der entgegengesetzten Richtung, d. h. von West nach Ost, fortpflanzt, einzutreten, die den säculären Gang im Stillen Ocean und im westlichen Theile der Vereinigten Staaten sehr verwickelt und zum Theil die von Ost herkommende Welle aufhebt. (Siehe Capitel II).

**) Es wäre eine dankeswerte und lohnende Arbeit, wenn jemand das Gleiche für die Europäischen Staaten machen würde, wo man ja noch weit mehr ältere Beobachtungen hat wie in den Vereinigten Staaten.

†) Die folgende Tabelle, welche das Eintreten der Minimums-Phase zeigt wurde aus dem U. S. C. and G. S. Report, 1888 p. 310 entnommen.

Station	Breite	Länge W. v. G.	Zeit	Station	Breite	Länge W. v. G.	Zeit
	0	0			0	0	
St. John's	47.6	52 7	1704	Chambersburg	39.9	77.7	1809
Charlottetown	46.2	63.4	1734	Cincinnati	39.1	84.4	1814
Eastport	44.9	67.0	1753	St. Louis	38.6	90.2	1822
Bangor	44.8	68.8	1774	Chicago	41.8	87.6	1831
Portland	43.6	70.3	1779	Denver	39.8	105.0	1839
Boston	42.3	71.1	1780	Salt Lake	40.8	111.9	1873
New York	40.7	74.0	1784	Cafe Mendocino	40.4	124 4	1886
Philadelphia	39.9	65.1	1802				

Wann es wirklich eintritt, ist wegen der kleineren Wellen kaum innerhalb 10—20 Jahren vorauszusagen. Verlegen wir es bis zum Jahre 1950, so bekommen wir immer noch nicht eine Periode von 477, sondern von etwa 340 Jahren. Für St. Johns ergiebt sich das Intervall zwischen Minimum und Maximum zu etwa 170 Jahren statt 240, wie für London, Paris und Rom.

Ich glaube hiermit wahrscheinlich gemacht zu haben, dass wir es anscheinend mit anderen Perioden in den Vereinigten Staaten zu thun haben als in Europa.

Man kann noch nicht schlechtweg sagen, dass die Erde eine gemeinsame säculare Periode besitzt. Nehmen wir Schleifen zu Hilfe, so muss erst gezeigt werden, dass dann die Erscheinung sich systematisch verfolgen lässt, wenn man die Erde umkreist. Es ist dies von mir geschehen und wird in einem späteren Theil besprochen werden. Es stellte sich heraus, dass auch mit Schleifen die gemeinsame Periode sich nicht schlechtweg ergiebt*).

Rio de Janeiro.

Breite: 22° 54'.8**) S. Länge: 43° 09'.5**) W. von Greenwich.

Declination.

Für keine Station sind so viele Formeln aufgestellt worden wie für diese. Die verschiedensten Perioden liegen den Formeln zu Grunde. Dass die Alle die Säcular-Variation ziemlich gut ausdrücken, rührt daher, dass im Beobachtungs-Intervall 1750—1885 kein Wendepunkt sich vorgefunden hat. Für die Construction der Säcular-Curve wähle ich die Mittelwerte, die sich ergeben aus Schott's Formel**), nämlich:

$$D = +\overset{\circ}{2}.19 + \overset{\circ}{9}.91 \, sin\, [\overset{\circ}{0}.80\,(t - 1850) - \overset{\circ}{10}.4]$$

und aus Felgentraeger's Formel (siehe seine Dissertation, nämlich:

$$D = +\overset{\circ}{3}.63 + \overset{\circ}{10}.91 \, sin\, \overset{\circ}{0}.755\,(t - 1873.8).$$

*) Felgentraeger glaubte in seiner Dissertation die Schott'sche Periode für den östlichen Theil der Vereinigten Staaten dadurch unwahrscheinlich gemacht zu haben, dass es ihm gelang mit Benutzung seiner Periode von 477 Jahren, eine Formel aufzustellen, welche die 1736—1889 zu Chambersburg (Pennsylvania) gemachte Beobachtungs-Reihe gut befriedigte. Es entging ihm aber, dass diese Reihe nur einen Wendepunkt, nämlich das Declinations-Minimum, etwa um 1809 enthielt. Es war also keine Schwierigkeit vorhanden, seine Periode oder noch viele andere Perioden mit Hilfe einer beliebigen Zahl von Sinusgliedern den Beobachtungen beliebig anzuschmiegen. Nach seiner Formel findet man ein Declinations-Maximum im 16. Jahrhundert, ein Minimum etwa 1810, dann ein Maximum wieder erst im 21. Jahrhundert. Nach dem bereits Gesagten, wonach die Maximums-Phase schon in nordöstlichen Theil der Vereinigten Staaten eingetreten ist, dürfte der Felgentraeger'sche Declinations-Gang für Chambersburg nicht wahrscheinlich sein.

**) U. S. Coast and Geodetic Survey Report for 1888, App. No. 7, p. 225. Schott bezeichnet die Formel als angenähert.

Inclination.

Datum	Beobachter.	I_b †)	I_r	Δ	g.
		°	°	°	
1751.1	Lacaille	— 20.00	— 20.30	+ 0.30	0.25
1822.1	Rümker, King	— 14.75	— 14.45	— 0.30	0.5
1830.0	Lütke, Erman, Fitzroy, Hagerup	— 13.90	— 13.70	— 0.20	1.0
1835.9	Hagerup, Beechey, Du Petit Thouars	— 13.47	— 13.19	— 0.28	1.0
1839.0	Sulivan, Hagerup	— 13.02	— 13.00	— 0.02	1.0
1849.2	Rothe, „Rattlemake", „Aurora"	— 12.08	— 12.34	+ 0.26	1.0
1857.5	„Novara"	— 11.80	— 12.07	+ 0.27	0.5
1866.0	Harkness	— 11.78	— 11.97	+ 0.19	1.0
1881.0	Ryckevorsel	— 12.13	— 12.13	0.00	1.5

Die folgende Formel wurde von mir aufgestellt*).

$$I = -17^{\circ}.84 + 5^{\circ}.92 \, sin\,[0^{\circ}.9\,(t-1850) + 61^{\circ}.3] - 0^{\circ}.34 \, sin\,[4^{\circ}\,(t-1850) - 87^{\circ}.]$$

Diese Formel bedingt ein Minimum von $-11^{\circ}.8$ etwa im Jahre 1882.

Zur Construction der Säcular-Curve wurde $D_0 = +3^{\circ}$, $I_0 = -18^{\circ}$ gewählt.

Hiermit ist $\rho_0 = 3.0777\,r$

$$a = 0.9510\,r\,tang\,(D - 3^{\circ}).$$

Die Formelwerte sind in der Tabelle p. 42 gegeben.

Man sieht, dass auch in der südlichen magnetischen Hemisphäre die säculare Bewegung im Sinne des Uhrzeigers folgt.

Für die folgenden Stationen werde ich mich möglichst kurz fassen und nur das Wesentliche anführen.

Berlin:*) $\varphi = 52^{\circ}\,31'.9$ N. $\lambda = 13^{\circ}\,23'.3$ Ost von Gr.

A. Erman stellte mehrere Male Formeln für die verschiedenen Elemente auf. Seine letzten sind**):

$$D = +18^{\circ}.122 + 0^{\circ}.00447\,(t - 1800) - 0^{\circ}.00117\,(t - 1800)^2$$

Epoche 1731—1870.

$$I = +70^{\circ}.327 - 0^{\circ}.0725\,(t - 1800) + 0^{\circ}.000354\,(t - 1800)^2$$

Epoche 1770—1869.***)

Da diese Formeln die Beobachtungen sehr hübsch befriedigen und keine seit Erman's aufgestellt worden sind, so benutzte ich sie zur Construction der Curve für die Epoche 1770 1880.

---

†) I negativ da der Nordpol über den Horizont neigt.

*) A. Erman's Station an der Kgl. Sternwarte.

**) Astr. Nachrichten 1869, Nr. 1775.

***) Erman benutzte nur die Beobachtungen 1806—1869. Die Formel kann aber rückwärts bis zu Euler's Beobachtung vom Jahre 1769 verwendet werden, denn Euler beobachtete $72^{\circ}.75$, die Formel ergiebt $72^{\circ}.87$.

Es wurde gewählt: $D_0 = + 5^0$*), $I_0 = + 72^0$†). Hiermit:
$\rho_0 = 0.3249\, r$ und $a = 0.3090\, r\, tang\, (D - 5^0)$

Die maximale westliche Declination von 18.1 trat etwa im Jahre 1802 ein.

Tiflis**): $\varphi = 41^0 43'$ N. $\lambda = 44^0 50'$ O. von Gr.

Aus den gesammelten Beobachtungen (1833—1890) erhalte ich:

Datum	D °	I °
1840.0	+ 2.55	+ 55.90
1871.0	— 0.20	55.50
1875.0	— 0.55	55.45
1882.0	— 0.90	55.51
1888.0	— 1.23	+ 55.66

$D_0 = 0^0$ $I_0 = + 56^0$
$\rho_0 = 0.6745\, r$
$a = 0.5592\, r\, tang\, D$

Zeit der minimalen Inclination (etwa $55^0.4$) circa 1875.

Bombay**): $\varphi = 18^0 53'.8$ N $\lambda = 72^0 48'.9$ O. von Gr.

Mittelst der Beobachtungen 1845—90:

Datum	D °	I °
1846.0	0.00	+ 18.14
1856.0	— 0.82	19.10
1870.0	— 0.79	19.50
1880.0	— 0.96	19.70
1890.0	— 0.81	+ 19.8

$D_0 = 0$ $I_0 = + 19^0$
$\rho_0 = 2.9042\, r$ $a = 0.9455\, r\, tang\, D$

Diese Station ist interessant, da die Epoche der maximalen östlichen Declination etwa im Jahre 1880 eingetreten ist. Der Verlauf der Curve vor 1846 kann aus den Thatsachen ersehen werden, dass im Jahre 1676 $D = + 12^0.0$ und im Jahre 1722 $D = + 5^0.2$ war.

Irkutsk: $\varphi = 52^0 17'$ N $\lambda = 104^0 20'$ O. von Gr.

Aus den Beobachtungen 1820—1889:

Datum	D °	I °
1828.5	— 1.74	+ 68.04
1870.0	— 2.70	69.80
1888.0	— 2.28	+ 70.08

$D_0 = 0$ $I_0 = + 69^0$
$\rho_0 = 0.3839\, r$ $a = 0.3584\, tang\, D$

Das Maximum der östlichen Declination ($-2^0.8$) trat in der Zeit 1870—1880 ein.

Peking: $\varphi = 39^0 57'$ N $\lambda = 116^0 28'$ O. von Gr.

$$D = + 2^0.179 + 0^0.0131\, [t - 1850] + 0^0.000117\, [t - 1850]^{***)}$$

Die Inclinationen 1831—1885 wurden graphisch aufgetragen, und die Interpolation graphisch gemacht.

$D_0 = 0^0$ $I_0 = + 56^0$
$\rho_0 = 0.6745\, r$ $a = 0.5592\, r\, tang\, D.$

---

*) D_0 wurde aus Schreyer's Formeln (Progr. No. 511, Freiburg, Sachsen) für Freiberg und Klausthal entnommen.

†) Mittelst Hansteen's Formel für die Berliner Inclinationen 1769—1857: $I = 72^0.12 - 4^0.88\, sin\, [1^0.002\, (t - 1780.62)]$. „Den mag. Incl. Forand". Kopenhagen 1857.

**) Magnetisches Observatorium.

***) Von U. S. Hydrographic Office aufgestellt.

Manila*): $\varphi = 14^\circ 35' N$ $\lambda = 120^\circ 58'$ O. von Gr.

$$D = -0^\circ.223 - 0^\circ.579 \sin[(t - 1850) + 46^\circ.3]$$ **)

I wurde erhalten mittelst graphischer Interpolation aus den Beobachtungen 1792—1891.

$$D_0 = 0^\circ \qquad I_0 = +15^\circ$$
$$\rho_0 = 3.7321\, r \qquad a = 0.9659 \, tang\, D.$$

Eine sonderbare Curve hat man hier. Die Epochen der maximalen östlichen Declination und der maximalen Inclination scheinen unweit von einander zu fallen.

Petropawlowsk: $\varphi = 53^\circ 01' N$ $\lambda = 158^\circ 43'$ O.

$$D = -3^\circ.35 + 2^\circ.97 \sin[1^\circ.3 (t - 1850) + 12^\circ.2]$$ †)

Epoche 1779—1877. D für 1877—1890, graphisch erhalten. I aus den Beobachtungen 1779—1890 mittelst graphischer Interpolation erhalten.

$$D_0 = -3^\circ \qquad I_0 = +63^\circ$$
$$\rho_0 = 0.5095\, r \qquad a = 0.4540\, r \, tang\, (D + 3^\circ)$$

Die Formel für D bedingt ein Maximum der östlichen Declination von — 6.03 im Jahre 1771 etwa. Die Epoche der maximalen Inclination ($64^\circ.3$ circa) mag kürzlich eingetreten sein oder ist im Eintreten begriffen.

Station $\varphi = 40^\circ N$, $\lambda = 180^\circ$ O. von Gr.

Um die Säcular-Curve von Ort zu Ort verfolgen zu können, wählen wir auch hypothetische Stationen in den Oceanen. Die nötigen Daten entnehmen wir aus den vorhandenen Isogonen- und Isoclinen-Karten.

Datum	D	I
1780	$-12^\circ.5$	$+49^\circ.5$
1880	-12.4	54.3
1842	-12.6	55.0
1885	-11.5	$+53.8$

$$D_0 = +12^\circ \qquad I_0 = +52^\circ$$
$$\rho_0 = 0.7813\, r \qquad a = 0.6157 \, tang.\, (D - 12^\circ)$$

Nach dieser Station wird man vielleicht sagen können, wie die Manila-Curve in der Zukunft verlaufen wird, denn es scheint, als ob auch hier die Epochen der maximalen östlichen Declination und Inclination nahezu zusammen fielen.

San Francisco: $\varphi = 37^\circ 47'.5 N$ $\lambda = 122^\circ 27'.3$ W. von Gr.

$$D = -13^\circ.94 + 2^\circ.65 \sin[1^\circ.05 (t - 1850) - 135^\circ.5]$$ †)

Epoche 1783—1889.

Die Inclination in der Zeit 1816—1885 scheint sich sehr wenig geändert zu haben. Die Werte schwanken zwischen 62° und 63°.

$$D_0 = -14^\circ \qquad I_0 = +62^\circ.5$$
$$\rho_0 = 0.5206\, r \qquad a = 0.4617\, r\, tang.\, (D + 14^\circ)$$

---

*) Magnetisches Observatorium.

**) Annual Report of the Hydrographer, Washington, 1891.

†) U. S. C. and G. S. Rep. 1888, App. 7.

St. Louis: $\varphi = 38^\circ 38.0'$ $\lambda = 90^\circ 12.2'$ W. von Gr.

$D = -5.91^\circ - 3.00^\circ \sin [1.40 (t - 1850) - 51.1^\circ]$*) Epoche 1835—87.

I**) $= + 69.56^\circ + 0.0127^\circ \triangle t + 0.000052^\circ \triangle t^2 - 0.000027^\circ \triangle t^3$

$\triangle t = t - 1850$ Epoche 1819—1879.

$D_0 = -6^\circ$, $I_0 = + 69.50^\circ$

$\rho_0 = 0.3739\, r$ $a = 0.3502\, r\, tang. (D + 6^\circ)$

Acapulco, Mexico: $\varphi = 16^\circ 50.5'$ N $\lambda = 99^\circ 52.3'$ W. von Gr.

$D = -4.48^\circ + 4.41^\circ \sin [1.0 (t - 1850) - 85.7^\circ]$*) Epoche 1744—1883.

Mittelst der Formel D und den Inclinationen 1791—1881 erhalten wir:

Datum	D	I
	°	°
1791.3	− 7.7	+ 36.1
1803.2	− 7.8	38.9
1838.1	− 8.2	38.0
1866.4	− 8.4	39.9
1880.9	− 7.9	+ 40.1

Der singuläre Punkt in der Säcular-Curve mag nicht reell sein, jedoch wir wollen vorläufig nichts ändern.

Bermuda Inseln: $\varphi = 32^\circ 22.6'$ $\lambda = 64^\circ 42.6'$ W. von Gr.

Datum	D	I
	°	°
1837.5	+ 6.98	+ 65.82
1873.4	+ 7.17	66.43
1890.4	+ 8.07	+ 64.79

$D_0 = + 7^\circ$ $I_0 = 65^\circ$

$\rho_0 = 0.4633\, r$

$a = 0.4226\, tang. (D - 7^\circ)$

40° N, 60° W. von Gr.:

Datum	D	I
	°	°
1780	+ 8.2	+ 68.8
1830	+ 12.7	72.3
1885	+ 18.0	+ 71.3

$D_0 = + 14^\circ$ $I_0 = + 70^\circ$

$\rho_0 = 0.3640\, r$

$a = 0.3420\, r\, tang. (D - 14^\circ)$

40° N, 40° W. von Gr.:

Datum	D	I
	°	°
1700	+ 5.8	+ 73.0
1780	+ 14.5	70.0
1830	+ 22.7	70.1
1842	+ 24.5	70.9
1885	+ 25.4	68.1

D_0 und I_0 wie vorher.

Ascension-Insel: $\varphi = 7^\circ 56'$ S. $\lambda = 14^\circ 23'$ W. von Gr.

Die Declinationen 1678—1890 sowie die Inclinationen 1754—1890 wurden graphisch aufgetragen und die Interpolation graphisch gemacht.

$D_0 = + 10^\circ$ $I_0 = 0^\circ$

$\rho_0 = \infty$ $a = r\, tang. (D - 10^\circ)$

Die Epoche der maximalen Declination (22.9 etwa) lag ungefähr im Jahre 1885.

*) U. S. C. und G. S. Rep. 1888, App. 7.

**) U. S. C. und G. S. Rep. 1885, App. 6.

St. Helena-Insel: $\varphi = 15^{\circ}55' S$ $\lambda = 5^{\circ}44' W.$ von Gr.

$D = + 8.^{\circ}90 + 15.^{\circ}31 \sin [0.^{\circ}618 (t - 1850) + 65.^{\circ}1]$*)
Epoche 1610—1890.

I wurde mittelst graphischer Interpolation aus den Beobachtungen 1754—1890 erhalten.

$D_0 = + 8^{\circ}$ $I = - 20^{\circ}$
$\rho_0 = - 2.7475\, r$ $a = 0.9397\, r\, tang. (D - 8^{0})$
$b = r \cos 30^{0}\, tang. (D - 8^{0})$

Die Epoche der maximalen westlichen Declination ($24.^{\circ}2$ etwa) ist kürzlich (1890) eingetreten oder ist im Eintreten begriffen.

Capstadt: $\varphi = 33^{\circ}56'.1$ S. $\lambda = 18^{\circ}28'.7$ O. von Gr.

$D = + 14.^{\circ}63 + 15.^{\circ}00 \sin [0.^{\circ}610) t - 1850) + 77.^{\circ}7]$†)
Epoche 1605—1890.

$I = - 48.^{\circ}85 - 0.^{\circ}112\ (t - 1800) + 0.00019\ (t - 1800)$**)
Epoche 1751—1890.

$D_0 + 15^{0}$ $I_0 = - 51^{0}$; $\rho = 0.8098 r$; $a = 0.6293$ tang $(D - 15^{0})$

Epoche der maximalen westlichen Declination ($29.^{\circ}6$) etwa im Jahre 1870. Epoche der maximalen östlichen Declination lässt sich nicht so genau angeben. Schott's Formel bedingt ein Maximum von 0.3 Grad Ost etwa im Jahre 1575. Im Jahre 1579 war nach Stephens die Declination Null***). Die vorläufigen Van Bemmelen'schen Karten ergeben für das Jahr 1580 eine Declination von 1 Grad Ost und für das Jahr 1540, 5 Grad Ost***) Sind die letzteren Werte richtig, so müsste das Maximum der östlichen Declination vor 1575 eingetreten sein und einen grösseren Wert als 0.3 Grad erreicht haben. Um einen Flächensatz im nächsten Capitel (siehe p. 47) aufstellen zu können, genügt es, die Grössenordnung des Flächeninhaltes der Säcular-Curve zu ermitteln. Zu diesem Ende bedienen wir uns der ziemlich sicheren Annahme, dass die maximale östliche Declination nicht kleiner als etwa 0.3 Grad war. Nun verlängern wir die Curve rückwärts vom Jahre 1750 bis zum Jahre 1575, indem wir sie tangentiell zur Declinationslinie 0.3 Grad Ost ziehen — wie das bei Paris und bei Rom gemacht wurde. Der Flächeninhalt der so bestimmten Curve wird dann sicherlich nicht grösser

*) U. S C. and G. S. Bull. 28, p. 229.

†) U. S. C. and G. S. Bull. 23. p. 229. Als Felgentraeger's Formel:

$D = + 15.^{\circ}578 + 14.^{\circ}384 \sin \alpha - 2.^{\circ}301 \sin 2\alpha + 0.^{\circ}570 \cos 2\alpha.$ $\alpha = 0.^{\circ}755\ (t - 1727.^{\circ}86)$ ist, zu meiner Kenntniss kam, wählte ich das Mittel der beiden Formeln.

**) Hansteen: Den magnetiske Inclinations Forandringer, Copenhagen 1857. Die Formel wurde aus den Beobachtungen 1751—1851 abgeleitet; ich fand aber, dass sie noch bis zum Jahre 1890 benutzt werden kann. Die Beobachtung giebt $-57.^{\circ}25$, die Formel $-57.^{\circ}39$.

***) W. Van Bemmelen: De Isogonen in de XVI de en XVII de Eeuw. Utrecht, 1893.

als der der wirklichen Curve sein. Denn die östliche Declination kann nach dem bereits Gesagten möglicherweise nur grösser als etwa 0,3 Grad sein, welches aber zur Folge hätte, dass die Curve sich weiter nach Ost ausdehnen müsste, also der Flächeninhalt grösser würde. Mit Hilfe dieser Thatsache kann man den erwähnten Satz aufstellen. Da der Theil der Curve 1575—1750 unsicher ist, so wurde er auf der Tafel mit dem Fragezeichen behaftet.

Melbourne: $\varphi = 37^0\,50'$ S. $\lambda = 144^0\,59'$ O. von Gr.

$$D†) = -\overset{0}{8}.329 + \overset{0}{0}.0197\ (t - 1871.5) + \overset{0}{0}.000333\ (t - 1871.5)^3$$

$$I†) = -\overset{0}{67}.10 + \overset{0}{0}.00133\ (t - 1871.5) + \overset{0}{0}.000133\ (t - 1871.5)^2$$

Beide Formeln gelten für die Epoche 1858—1890.

$D_0 = -8^0$ $I_0 = 67^0$

$\rho_0 = -0.4245\ r$ $a = 0.3907$ tang $(D + 8^0)$

In dem Vorhergehenden habe ich nur einen Theil meiner gesammelten Beobachtungs-Daten angeführt. Wie schon bemerkt, war es meine Absicht, hier nur so viel zu geben, als äusserst notwendig war zur Begründung der Schlussfolgerungen. Mein Bestreben war, solche Stationen herauszuwählen, welche etwas Characteristisches zeigen konnten, und um das Characteristische deutlicher überblicken zu können, wurde eine Umkreisung der Erde mittelst Stationen, die in der Nähe von 40° Nord lagen, versucht. Behufs der Bewegung des Nordpoles im Sinne des Uhrzeigers mag es gestattet sein, zu sagen, dass jetzt mehr als 100 Reihen von mir in dieser Hinsicht untersucht worden sind und dass in jedem Falle, wo die Beobachtungen zuverlässig waren und sich über einen genügenden Zeitraum erstreckten, die Richtung, wie sie in dieser Arbeit niedergelegt worden ist, sich bewährte.

Die Tafel I, auf welcher die Curven niedergelegt worden sind, bedarf einer kleinen Erläuterung. Alle Stationen, d. h. die Berührungspunkte M (D_0, I_0) stehen in den richtigen Breitengraden untereinander; da die Curven in Grösse nach so verschieden ausfielen, konnte die wirkliche Längendifferenz nicht beibehalten werden, jedoch stehen die Punkte (D_0, I_0) relativ zu einander in den ihnen zukommenden Längen. Das Andere betreffend die Erläuterung der Karte wird aus dem schon Gesagten und aus der Ueberschrift zur Karte sich leicht ergeben. Es muss noch betont werden, dass, da diese Karte die erste ihrer Art ist, sie notwendigerweise eine Versuchs-Karte sein muss und daher noch nicht Alles so klar darstellt, wie ich es wünschen möchte. Eine zweite, vollkommenere und mit Benutzung eines grösseren Maassstabes konnte, wegen Mangel an Zeit, nicht besonders für diese Arbeit verfertigt werden. Auch werde ich bei einer so umständlichen Arbeit kaum hoffen dürfen, dass Rechnungsfehler oder sonstige falsche Angaben vollständig beseitigt worden sind.

---

†) Neumayer's Atlas des Erdmagnetismus.

Die Daten zur Construction der Säcular-Curven.

[Wenn sie nicht anderswo gegeben sind.]

Station	1750		1760		1780		1800		1820		1840		1860		1880		1890	
	D	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D	I
	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°	°
Fayal-Insel	— —	— —	— —	— —	+21.25	+70.26	+24.08	+69.10	+26.18	+67.83	+27.22	+66.57	+27.33	+65.39	+26.40	+64.38	+25.58	+63.96
Berlin	+14 98	— —	+16.07	— —	+17.56	+71.92	+18.12	+70.33	+17.74	+69.02	+16.43	+68.00	+14.18	+67.25	+11.0	+66.8	— —	— —
Genf*)	— —	— —	— —	— —	— —	+69.07	+21.50	+67.47	+20.59	+66.07	+19.21	+64 89	+17.34	+63.91	+15.00	+63.18	+13.65	+62.81
Basel*)	— —	— —	+18.	+70.85	+20.	+68.90	+21.7	+67.61	+21.7	+66.47	+20.2	+65.49	+18.	+64.66	+15.2	+63 99	+13.0	+63.47
Peking	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	+ 2.06	+55.5	+ 2.32	+56 6	+ 2.68	+56.8?	+ 2.9	+56.5?
Manila	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— 0.18	+12.9	— 0.38	+15.0	— 0.54	+16.5	— 0.70	+17 4	— 0 78	+17.7	— 0.80	+17.6
Petropawlowsk	— —	— —	— —	— —	— 6.3	+63.0	— 5.7	+63.4	— 4.7	+63.8	— 3.4	+64.1	— 2.0	+64.2	— 0.4	+64.3	+ 0.5	+64.3
San Francisco	— —	— —	— —	— —	—12.6	— —	—13.6	— —	—14.54	— —	—15.42	+62.4	—16 10	+62.4	—16.51	+62.3	—16.58	+62.3
St. Louis	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	+69·86	— 8.6	+69.46	— 7.7	+69.66	— 6.4	+69.26	— 5.6	— —
Ascension I.	+ 6.7	+11.8	+ 8.4	+10.8	+11.6	+ 8.2	+14.0	+ 5.6	+16.4	+ 3.0	+18.8	— 0.4	+21.4	— 4.7	+22.9	— 9.3	+23.0	—11.6
St. Helena I.	+ 9.77	— 9 9	+11.70	—10.5	+14.59	—12.0	+17.51	—13.5	+20.01	—15.4	+22.00	—18.0	+23 41	—22.0	+24.11	—26.5	+24 21	—29.65
Rio de Janeiro	— 7.27	—20.41	— 7.44	—19.50	— 6.84	—17.98	— 5.42	—16.50	— 3.46	—14.66	— 1.01	—12.89	+ 1.71	—12 01	+ 4.52	—12.11	+ 5.88	—12.29
Capstadt	+19.1	—43.6	+20.5	—44.2	+23.2	—46.53	+25.4	—48.85	+27.2	—51.01	+28.8	—53.03	+ 29.7	—54.89	+29.6	—56.59	+29.2	—57.39
Melbourne	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— 8.50	—67 09	— 8.14	—67.08	— 7.85	—67.03

*) Die Curven konnten wegen Mangel an Raum nicht auf der Tafel I gegeben werden. Die Daten wurden mittelst Battelli's Formeln erhalten, ausser den Basel-Declinationen, welche graphisch ermittelt wurden. [Bibliothéque universelle et Revue Suisse, III. Periode, 28. Genève 1892.]

Haupt-Schluss-Folgerungen.

1. — Das Nordende einer frei beweglichen Magnetnadel, vom Aufhängepunkt der Nadel ausgesehen, bewegt sich in Folge der Säcular-Variation auf der ganzen Erde im Sinne des Uhrzeigers*).

2. — Es ist noch nicht bewiesen, ob eine Säcular-Periode, die der ganzen Erde gemeinsam ist, existirt.

3. — Es ist noch nicht gesagt, dass die Säcular-Curve eine einfach geschlossene ist, oder ob sie überhaupt geschlossen ist. Es sind vielmehr Andeutungen von Schleifen vorhanden.

4. — Es wäre wünschenswert, dass die Säcular-Curven auch von Anderen construirt würden, denn mittelst dieser Curven bekommt man das anschaulichste Bild der Säcular-Variation.

II. Capitel.

Vergleich der Säcular-Variation mit der augenblicklichen Vertheilung des Erdmagnetismus.

Wenn man die Tafel I nachschlägt und z. B. mit London anfängt und in einer östlichen Richtung die Erde umkreisst, so wird man finden, dass die Säcular-Curve sich immer weiter und weiter zu entwickeln scheint. Bei London und Paris sieht man, dass die Curve einem Inclinations-Minimum zueilt. Es ergiebt sich dies auch aus den jährlichen Inclinations-Aenderungen, indem sich diese etwa seit dem Zeitpunkte des Declinations-Maximums fortwährend vermindern. Dieses Minimum wird von den aufgestellten Formeln in die erste Hälfte des nächsten Jahrhunderts verlegt.

Bei Rom und Berlin tritt diese höchste Stelle der Curve schon früher ein, in Tiflis ist sie schon im Jahre 1875 etwa eingetreten. Für Bombay ist schon längst dieser höchste Punkt vorbei und hat kürzlich (1880) eine maximale östliche Stellung eingenommen. So ist auch bei Irkutsk die Epoche des Declinations-Minimums schon vorbei. Peking hat vielleicht bereits ein Maximum der Inclination besessen. Bei Manila scheint es, als ob der maximale östliche Punkt mit dem maximalen südlichen nahezu zusammenfällt. Hier hat die Nadel seit dem Jahre 1790 in Bezug auf die Declination fast stille gestanden, in Bezug auf die Inclination hat sie sich aber beträchtlich geändert. Für Petropawlowsk trat der maximale östliche Punkt etwa im Jahre 1771 ein und das Inclinations-Maximum hat sich

*) Das wird wohl das erste Gesetz bezüglich der Säcular-Variation des Erdmagnetismus sein, das bisher für den grössten Theil der Erde allgemein aufgestellt worden ist.

wahrscheinlich ganz kürzlich abgespielt oder ist im Abspielen begriffen. Bei der hypothetischen Station 40° N. und 180° O. sieht man eine Curve wie bei Manila, und hieraus erkennt man, wie die Manila-Curve in der Zukunft sich vielleicht entwickeln wird. Die Manila-Curve macht gegenwärtig einen minimalen Knick oder eine verschwindende Schleife durch. Hiernach glaube ich, dass sie der Richtung der säcularen Bewegung gemäss verlaufen wird wie es durch den Pfeil angedeutet ist. Wie die Curven längs der West-Küsten der Vereinigten Staaten, überhaupt im westlichen Theil, gestaltet sind, ist sehr schwer zu sagen wegen der mangelhaften Beobachtungen und des schon erwähnten Umstandes, dass man es hier anscheinend mit einem verwickelten Wellensystem zu thun hat. San Francisco scheint zwar ein Inclinations - Minimum besessen zu haben. Es ist aber sehr fraglich, ob das das Haupt-Minimum ist. Es spielen sich gegenwärtig kleinere Wellen ab und man kann nicht schlechtweg eine Entscheidung treffen. Es soll nur noch erwähnt werden, dass man in diesem Erdtheil höchst wahrscheinlich sehr kleine Schleifen oder singuläre Punkte bekommt. Es ist deswegen für diesen Erdtheil besonders wichtig, bei einer Discussion der Säcular-Variation nicht die Variationen der Declination und die der Inclination getrennt zu behandeln. Beide Aenderungen müssen zu gleicher Zeit verfolgt werden, um die wirklichen Aenderungen klar deuten zu können.*)

Kommen wir zu St. Louis, so finden wir, dass die Epoche der maximalen Inclination vorbei ist und die Curve anscheinend einem Maximum der westlichen Declination zustrebt. Boston haben wir schon besprochen; hier wird das westliche Maximum etwas früher erreicht werden als zu St. Louis, Die Curve für 40° N. und 60° W. so wie die für Bermuda sind der für Boston sehr ähnlich, und man sieht, dass beide sich einem Maximum westlicher Declination nähern. Die Station 40° N., 40° W. scheint ihr Maximum westlicher Declination entweder bereits durchgemacht zu haben oder macht etwa ein solches durch.**) Was für eine grosse Aenderung ist aber

*) Es kann diese gleichzeitige Behandlung (wo das möglich ist) der Elemente nicht stark genug betont werden. Denn so mancher Erdmagnetiker glaubte bei Untersuchungen über die Säcular-Variation z. B. der Declination eine Beobachtung ganz vernachlässigen zu können oder verbessern zu sollen aus keinem anderen Grunde, als dass, wenn er die originelle Beobachtung beibehalten hätte, sich dann eine jährliche Aenderung ergeben hätte, die nach seiner Meinung unregelmässig gewesen wäre und deshalb unwahrscheinlich. Ich habe schon mehrmals gefunden, dass die scheinbar etwas zweifelhafte Beobachtung dadurch entstand, dass die wirklich beschriebene Säcular-Curve einen Knick oder eine minimale Biegung oder ein verschwindendes Schleifchen durchmachte. Durch Vernachlässigung oder Verbesserung der Beobachtung verschwand diese minimale Biegung, und man bekam eine glatte Curve. Es sind aber gerade diese kleine Wellen, die wir haben wollen und die wir einmal sehr interessant finden werden. Es wäre eine sehr hübsche Arbeit, wenn jemand diese kleinen säcularen Wellen einer Untersuchung unterwerfen würde.

**) Der Knick für diese Station wird wahrscheinlich zum Theil von den magnetischen Karten entnommenen unsicheren Werte herstammen.

entstanden ist, dass die säcularen Wellen des Erdmagnetismus zum grössten Theile sich annähernd von Ost nach West zeitlich fortpflanzen, sollte das nicht bedingen, dass, wenn wir zu irgend einer Zeit eine momentane Umkreisung der Erde mit einer frei beweglichen Magnetnadel machten, dieselbe Erscheinung sich örtlich, wie sie sich an einer festen Station zeitlich, abspielt?

Wir wollen eine solche momentane Umkreisung machen und sehen, was sich hierbei herausstellt. Zu dem Ende gehen wir im Jahre 1885 beispielsweise von der Station 40° N und Länge 0° aus und reisen mit einer frei beweglichen Magnetnadel in einer östlichen Richtung um die Erde längs des Breitenkreises 40° N. Die Nadel wird ihre Richtung fortwährend ändern. Denkt man sich nun den Aufhängepunkt der Nadel ruhend, aber die Nadel selber denjenigen continuirlichen Richtungsänderungen wie bei der Erdumkreisung unterworfen, so wird das Nordende eine gewisse Curve im Raum beschreiben. Oder man denkt sich den Aufhängepunkt der Nadel fest im Raume und zwar dicht an der Erdoberfläche. In Folge der Rotation unseres grossen Erdmagneten ändert sich nun die Nadelrichtung fortwährend und das Nordende der Nadel beschreibt eine gewisse Curve. Was ist die Natur dieser Curve vom Aufhängepunkt der Nadel aus gesehen?

Um diese Curve construiren zu können, in ähnlicher Weise wie im ersten Capitel dargelegt wurde, ist der folgende Weg eingeschlagen worden. Aus den vortrefflichen Neumayer'schen Isogonen- und Isoclinen-Karten für 1885 entnehmen wir die Declination und Inclination für Punkte, die alle auf der Breiten-Parallelen 40° N liegen und um je 20° Länge von einander entfernt sind. Mit den so erhaltenen Daten ist es dann leicht, die gewünschte Curve zu erhalten. Die unterbrochenen Stellen der Curve zeigen die Daten an. Schlägt man die Curve nach (Tafel II), so erblickt man, dass die Curve nicht einfach geschlossen ist, sondern eine Schleife enthält, jedoch erfolgt die Richtung der Bewegung des Nordpols für die eingeschlagene östliche Umkreisung der Erde durchaus im Sinne des Uhrzeigers, wie bei der Säcular - Curve! Auch bietet der Theil ohne die Schleife eine Aehnlichkeit mit den Säcular-Curven für London, Paris und Rom. Ist das ein reiner Zufall? Bekommen wir das Nämliche längs anderer Breitenkreise und auch für andere Epochen?

Um die letztere Frage zu beantworten, sind erstens die Momentan-Curven für die Epoche 1885 und für die Parallel-Kreise 75° N, 70° N, 60° N, 50° N, 40° N, 20° N, 0°, 20° S, 40° S und 60° S, zweitens, die Momentan - Curven noch für die Epochen 1780 und 1829 in den Fällen 40° N, 0° und 40° S untersucht worden. Einige dieser Curven findet man auf der Tafel II. Hieraus ergiebt sich, dass in jedem Falle die Richtung der Momentan - Curve mit derjenigen der Säcular - Curve übereinstimmt. Die Curven für die verschiedenen Epochen haben sich im grossen Ganzen nicht sehr viel geändert in der Zeit 1780—1885, jedoch machen sich Aenderungen bemerkbar. So

sieht man z. B., dass die Curve für 40° N ihre Schleife mit den früheren Epochen aufzulösen scheint.

Es fragt sich noch, wie verhält es sich mit der Momentan-Curve, wenn wir andere Richtungen wählen. Machen wir z. B. eine Umkreisung längs einer magnetischen Parallelen, was für eine Curve bekommen wir dann? Es versteht sich von selbst, dass, da die Säcular-Wellen zum grössten Theile von Ost kommen, die Umkreisung stets östlich gemacht werden soll. Definiren wir eine magnetische Parallele als eine Isocline und schreiten um die Erde längs einer Isoclinen mit der frei beweglichen Magnetnadel, so beschreibt die letztere eine Gerade, denn die Inclination ist ja constant längs einer Isoclinen, nur die Declination ändert sich. Also, die Isocline muss ausgeschlossen werden. Definiren wir eine magnetische Parallele als eine Aequipotential-Linie und machen die östliche Umkreisung im Jahre 1885 längs der Null-Aequipotential-Linie (also des magnetischen Aequators), so erhält man abermals eine andere Curve (Siehe Tafel II). Der grösste Theil geht im Sinne des Uhrzeigers, von den zwei Schleifen aber geht die grössere im entgegengesetzten Sinne. Auch zeigt diese Curve nicht eine so grosse Ähnlichkeit mit der Säcular-Curve.

Gewiss für jede Umkreisung der Erde stellt sich eine geschlossene Curve heraus, und es versteht sich von selbst, dass man nach Belieben die verschiedensten Curven erhalten kann. Ich glaube aber, dass der Zusammenhang mit der Säcular-Curve am innigsten für diejenige Umkreisung ist, die unweit von einer geographischen Parallele stattfindet.

Sollte sich das durch künftige Untersuchungen wirklich bewähren, würde das bedeuten, dass die Säcular-Variation auf irgend eine Weise mit der Rotation unseres grossen Erdmagneten in Verbindung steht?

Vergleicht man die Flächeninhalte der Momentan-Curven mit den ungefähr in denselben Breiten liegenden Säcular-Curven, so findet man, dass auch hier ein Zusammenhang sich sehr deutlich ergiebt. So ist die Momentan-Curve für 0° Breite die grösste der Momentan-Curven,*) und die für 40° S etwa zweimal so gross als die für 40° N. Ganz ähnliche Verhältnisse machen sich bei den Säcular-Curven deutlich. So ist die Ascension Insel-Säcular-Curve (Breite = 7°.9 S) augenscheinlich die grösste von allen und die für Capstadt (33°.9 S) grösser**) als die für Rom (41°.9 N.) Auch scheint es, als ob betreffend die Schleifen für die verschiedenen Parallelen der Zusammenhang zwischen Momentan- und Säcular-Curve verfolgt werden kann; jedoch ich verzichte hier darauf. Die Untersuchung der Momentan-Curven†) in Verbindung mit den Säcular-Curven empfiehlt sich also sehr; vielleicht auf diese

---

*) Die grösste Momentan-Curve würde sich wahrscheinlich für eine Parallele ein wenig südlich vom wahren Aequator ergeben.

**) Siehe p. 40

†) Die Momentan-Curven sind nie in Bezug auf die Null-Declinationslinie symmetrisch, d. h. jeder Parallelkreis (nahezu für alle Karten, die ich in dieser Arbeit verwendete) giebt einen Ueberschuss und zwar von westlicher Declination. Ich werde das in einer späteren Arbeit besprechen.

Weise wird es uns mal möglich einen Blick in die Zukunft einigermassen zu werfen. Auch wird hierdurch die Feststellung der wirkenden Kräfte unzweifelhaft erleichtert werden.

Haupt-Schluss-Folgerungen.

1. Das Nordende einer frei beweglichen Magnetnadel, vom Aufhängepunkt der Nadel aus gesehen, bewegt sich bei einer momentanen östlichen Umkreisung der Erde längs eines Parallelkreises im Sinne des Uhrzeigers.
2. Die Momentan-Curve oder die Momentan-Vertheilung des Erdmagnetismus scheint enge mit der Säcular-Curve oder mit der Säcular-Variation des Erdmagnetismus verbunden zu sein.

Capitel III.

Ueber die Säcular-Variation der magnetischen Declination längs Parallelkreisen nach den bisher veröffentlichten Isogonen-Karten.

Leider sind die Stationen, wo man lange Beobachtungsreihen hat, nicht planmässig oder regelmässig über die Erde vertheilt. Es ist manchmal eine sehr schwierige Sache, eine Gesetzmässigkeit der Säcular-Variation zu erkennen und von Ort zu Ort zu verfolgen; entweder sind die Stationen ganz dicht bei einander, oder sie sind zu weit auseinander. Auch ist das Material bei dem gegenwärtigen unerfreulichen Stande der erdmagnetischen Litteratur nicht immer so leicht zusammenzutragen. Es ist deshalb eine schwierige Sache, ein allgemeines Bild des Wesens der Säcular-Variation für die ganze Erde zu geben. Um einmal die Unterlage für einen solchen Versuch zu gewinnen, fiel mir der Gedanke ein, auch die magnetischen Karten für meine Untersuchungen zu verwenden. Hierbei kann man die Stationen planmässig wählen und die entsprechenden Daten aus den Karten entnehmen. Gewiss ist diesem Material nicht derselbe Wert beizulegen wie dem wirklich beobachteten. Wenn man aber bedenkt, dass diese Karten nicht willkürlich verfertigte sind, sondern zum grössten Theile auf Beobachtungen oder reducirten Daten beruhen, dass sie so zu sagen das summum totum des vorhandenen Beobachtungs-Materials repräsentiren, so verdienen sie doch Beachtung in einer Untersuchung der Säcular-Variation. Nur muss man nicht dabei vergessen, dass solches Material mit Hilfe der wirklich beobachteten Daten kritisch verwerthet werden muss, dass man Einzelheiten hierdurch nicht gewinnen kann, jedoch sollte man erwarten, dass sich die groberen Züge herausstellten. Mit anderen Worten: Wir

wollten eine Richtschnur, die für detaillirte Untersuchungen dienen soll, mit Hilfe der erdmagnetischen Karten gewinnen.

Wenn man sich z. B. über die geographische Vertheilung des Intervalls zwischen einem Declinations-Maximum und Minimum, oder über die örtliche Vertheilung der Amplitude der Declinations-Säcular-Variation orientiren so könnte man schwerlich Auskunft in veröffenlichten Publikationen finden. Um solche und andere Fragen, wenn auch nur im Groben, beantworten zu können, wurde aus den folgenden Isogonen-Karten für die Epochen

1540, 1580, 1600, 1610, 1640, 1665, 1680, 1700, 1710, 1720, 1730, 1744, 1756, 1770, 1787, 1800, 1827—31, 1829, 1833, 1840—45, 1856, 1871, 1880, 1885, 1890,

die Declination für Punkte, die um 20° Länge entfernt waren und auf den Breitenkreisen 60° N, 40° N, 20° N, 0°, 20° S, 40° S, 60° S lagen, entnommen. Im Ganzen waren es also $7 \times 18 = 126$ Punkte, symmetrisch auf der Erde vertheilt, die auf diese Weise als Säcular-Variation-Stationen behandelt wurden. Die so gewonnenen Daten wurden dann graphisch auf einer Karte, auf der die Stationen in ihrer richtigen geographischen Lage markirt waren, aufgetragen. Diese eine Karte enthält also, in einem gewissen Sinne, das Gesammtdeclinationsmaterial. Das Endresultat der Karte war ein sehr erfreuliches und der grossen Mühe wert, die nötig war, um die Karte herzustellen*). Man hat auf diese Weise ein ungemein übersichtliches Bild der groberen Züge der Declination-Säcular-Variation für die ganze Erde erhalten. Da dieser Theil der vorliegenden Arbeit anderswo veröffentlicht werden wird, so wollen wir hier nicht, was auch ohne Karte schwierig wäre, diesen Theil besprechen. Ein Auszug dieses Capitels wurde hier gegeben, um den Zusammenhang zwischen den verschiedenen Capiteln deutlicher zeigen zu können. Es sei nur gestattet hervorzuheben, dass es mir durch diese Karte ermöglicht worden ist, in grossen Umrissen Aufschluss über die obigen Fragen, die als Beispiele angeführt worden waren, sowie auch über andere interessante Fragen zu geben.

Capitel IV.

Ueber die Säcular-Variation-Curven für Punkte längs Parallelkreisen nach den aus Isogonen- und Isoclinen-Karten entnommenen Daten.

Dieses Capitel ist noch nicht abgeschlossen, jedoch will ich kurz andeuten, wie weit es vorgeschritten ist.

---

*) In der Zusammenstellung der Daten aus den magnetischen Karten, sowie in der Herstellung der erwähnten Karte wurde ich von meiner Frau unterstützt.

Die Declinations - Daten wurden aus den zu Capitel III gehörigen Tabellen erhalten. Die Inclinations - Daten wurden für dieselben Punkte wie im vorigen Capitel aus den Isoclinen - Karten 1600, 1700, 1780, 1829, 1840—45, 1880 und 1885 entnommen. Den Inclinations - Daten für 1600 und 1700 kann man gewiss nur einen sehr geringen Wert beilegen. Es ist meine Absicht, für die 126 symmetrisch auf der Erde vertheilten Stationen die Säcular - Curven in ihrer wirklichen geographischen Position auf einer Karte niederzulegen. Auf dieser Karte sollen auch die Säcular-Curven des Capitels I verzeichnet werden. Mittelst dieser neuen Karte hoffe ich, dass die Erkennung einer Gesetzmässigkeit, die Verfolgung des örtlichen Fortschreitens einer Phase, die Schwächung und Verstärkung der Säcular-Variation durch entgegengesetzte oder gleich gerichtete Wellen etc. etc., leichter überblickt werden kann.

Von diesen 126 hypothetischen Stationen sind die Säcular-Curven für 54 angenähert gezeichnet worden, nähmlich für die Punkte, deren Länge ist 0°, 20° O, 40° O, 60° O etc. alle 20° bis 360°, und zwar auf den Breitenkreisen 40° N, 0°, und 40° S. Um eine angenäherte Säcular-Curve zu erhalten, ist es ja nicht einmal nötig, sich der centralen oder gnomonischen Projection, wie im Capitel I erläutert, zu bedienen. Man nehme einfach ein rechtwinkliges Coordinaten - System. Auf der Y-Axe sollen die Inclinations-Aenderungen, auf der X-Axe die Declinations-Aenderungen abgetragen werden. Um die Declinations - Grade auf Inclinations - Grade zu reduciren, multiplicire man die ersteren mit $\cos I_0$. I_0 kann angenähert angenommen werden, und der Bruchtheil $\cos I_0$ kann einfachsheitshalber abgerundet werden. Auch ohne Reduction auf einen gemeinsamen Maassstab wird sich die Gesetzmässigkeit der R i c h t u n g der säcularen Bewegung in den meisten Fällen ergeben. Wer sich also das Vergnügen machen will, den ersten Satz des Capitels I pag. 43 an einer Reihe zu prüfen, kann das ohne grosse Mühe machen.

Von diesen 54 gezeichneten Stationen bewegte sich der Nordpol in der Zeit 1780—1885 für alle Stationen auf dem Parallelkreis 40° N und auf dem Aequator, d. h. also im ganzen für 36 Stationen im Sinne des Uhrzeigers. Von den 18 Stationen in 40° südlicher Breite waren die Hälfte unsicher, wie das aus den mangelhaften Daten für diesen Erdtheil zu erwarten ist. Diese fragliche Curven fielen in den unsichersten Bereich, nämlich zwischen Länge 60° Ost und 200° Ost. Für diesen Erdtheil scheinen die Säcular-Curven überhaupt sehr klein zu sein; manchmal sind sie nahezu gerade Linien, da die Aenderung hauptsächlich bei der Inclination eintritt. (Siehe Manila, Tafel I). Diese Thatsache tritt sehr hübsch hervor in der zu Capitel III gehörigen Karte. Man könnte fast unzweideutig schliessen, dass entgegensetzte Wellen im Stillen Ocean und an deren Küste auftreten.

Es wäre bei dem heutigen Stande des Erdmagnetismus sehr gewagt zu behaupten, dass die Uhrzeiger-Richtung sich auch in den k l e i n s t e n Theilen der Säcular-Curven wiederfinden lasse. Ich behaupte nur, dass für den grössten Theil einer jeden Curve die säculare Bewegung in allen Erd-

theilen im Sinne des Uhrzeigers vor sich geht. Ich glaube, diese Thatsache wird eine höchst wichtige Rolle spielen bei der Discussion über die möglichen Ursachen der Säcular-Variation und bei der mathematischen Prüfung, ob die Ursache ikren Sitz innerhalb oder ausserhalb der Erde hat.

Es soll nur noch zum Schluss dieses Capitels erwähnt werden, dass die wellenartige Bewegung der Säcular-Variation auf der zu diesem Capitel gehörigen Karte sehr deutlich hervortritt und Jedem, der die Karte zu Sehen bekam, gleich in die Augen fiel.

Capitel V.
Ueber die Frage, ob alle Stationen der Erde hinsichtlich der Säcular-Variation des Erdmagnetismus einer gemeinsamen Ursache unterworfen sind.

(Vorläufige Mittheilung.)

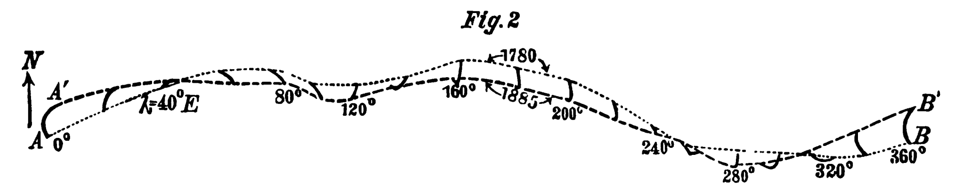
Es ist gewiss sehr wahrscheinlich, dass alle Stationen von derselben Ursache primär beeinflusst werden, und dass die secundären localen Verhältnisse nur dazu beitragen, die Gestalt der Säcular-Curve zu beeinflussen. Es mag das wohl sein; wenn man aber die verschiedenen Curven auf Tafel I und die auf den anderen hier nicht beigegebenen Karten in Betracht zieht und erwägt, wie die Amplituden der Aenderung in der Declination für denselben Breitenkreis von einander differiren, und erwähnt wie schwierig es noch immer ist, eine gemeinsame säculare Periode aufzubauen etc. etc., so könnte man sich doch wohl fragen, was denn die Hauptrolle spiele, ob die primäre gemeinsame Ursache oder die secundären localen Ursachen. Wenn z. B. irgend eine Ursache die Richtung der Nadel an der Ostküste Asiens continuirlich ändert, wirkt dann diese Ursache auch dahin, dass die Nadel beispielsweise in New-York entsprechend ihre Richtung ändert?

Um mit anderen Worten die Ideen zu fixiren, denke man sich frei bewegliche Magnetnadeln an Punkten der Erdoberfläche aufgehängt, die alle im Breitenkreis z. B. 40° N liegen und je 20° in Länge (λ) von einander entfernt sein sollen, aufgehängt; wir hätten also im Ganzen 18 frei aufgehängte Magnetnadeln; nun verbinde man die Nordpole in der Art, dass sich das die Erde umkreisende Nadelsystem entweder als Ganzes bewegen kann, oder aber so, dass jede Nadel unabhängig von den anderen ihre Richtung ändern kann. Jetzt fragen wir uns, ist die Säcular-Variation eine solche erdmagnetische Störung, dass sie das Nadelsystem als Ganzes verschiebt, oder ist sie eine solche, dass jede Nadel oder ein Theil der Nadeln einen von den anderen unabhängigen Weg einschlägt?

Zu diesem Zwecke verbinde man die Nordpole der Nadeln im Jahre 1780 durch eine Curve. Im Jahre 1885 thue man das Gleiche. Ich habe das in Fig. 2 gemacht, indem ich zuerst die Säcular-Curven für die 18 Punkte längs der Breiten-Parallele 40° N für die Epoche 1780—1885 construirte nach den Daten der vorangegangenen Capitel. Z. B. Ist die erste voll-

gezogene Curve links die Säcular-Curve für den Ort, dessen Breite 40° N und dessen Länge 0°, von Greenwich aus gezählt, ist. Die zweite vollgezogene Curve links ist die Säcular-Curve für den Ort, dessen Breite 40° N und dessen Länge 20° Ost von Greenwich ist, etc. Die Endpunkte dieser Säcular-Curven stellen die Lagen der Nordpole in den Jahren 1780 und 1885 dar. Nun wurden diese Endpunkte durch zwei Curven verbunden. Die Verbindungs-Curve für 1780 ist *AB* und die für 1885 *A'B'*.

Fig. 2



Man sieht, dass die 1885 Curve ihrer Natur nach der 1780 sehr ähnlich ist, nur ist sie etwas verschoben und zwar gesetzmässig verschoben Man braucht sich nur die Curve *AB* (1780) etwas nach links, d. h. nach West, und nach unten, d. h. nach Süd verschoben zu denken, um die Curve *A'B'* (1885) zu erhalten. Hätten die Nadeln in der Epoche 1780—1885 unabhängig von einander ihre Bewegungen ausgeführt, so würde man schwerlich solch' eine der 1780 ähnliche Curve für 1885 erhalten, oder es würde sich schwerlich eine solche Gesetzmässigkeit zwischen den beiden Curven ergeben haben. Die Säcular-Variation hat also anscheinend das Nadelsystem als G a n z e s verschoben. Würde das nicht bedingen, dass die säculären Wellen mit der Zeit um die ganze Erde laufen? Hätte man es nun mit einer einzigen Welle zu thun, die die ganze Erde in einer bestimmten Richtung, wir wollen sagen in einer angenähert westlichen, in einem bestimmten Zeitintervall umkreist, so sollte man erwarten, dass man die Säculär-Curve, die sich an einer gegebenen Station abspielt, erhält, wenn man der säcularen Welle entgegenreist; d. h. man sollte die Säcular-Curve zusammensetzen können, indem man eine östliche Umkreisung macht und den abgespielten Theil der Curve an jeder Station betrachtet, oder auch einfach durch eine momentane Umkreisung der Erde, wie das in Capitel II gemacht wurde. Wir sahen, dass Beides angenähert gemacht werden kann, jedoch nicht vollständig. So scheint z. B. die Momentan-Curve etwas verschieden zu sein für verschiedene Epochen. Wenn sich nun mit der Zeit immer dieselbe Säcular-Curve an einer Station abwickelt, sollte man dann nicht erwarten, dass auch die Momentan-Curve ihre Gestalt nicht wesentlich verändere? Die Momentan-Curve könnte zwar als Ganzes verschoben sein, ihre Gestalt jedoch (z. B. einschleifig oder zweischleifig) dürfte sie nicht ändern. Wir finden aber nun thatsächlich Aenderungen. Die Schleife für die 1780er Momentan-Curve ist kleiner als die für 1885. Bedeutet dies, dass man in Wirklichkeit keine Säcular-Periode besitzt, dass sich an keiner Station die Säcular-Curve zweimal in derselben Weise entwickelt, dass dieselbe also etwa spiralförmig ist? Oder mit anderen Worten, dass wir es mit einer säcularen Variation der Säcular-Variation zu thun haben?

Capitel VI.

Ueber die Möglichkeit, den Gauss'schen Potential-Ausdruck des Erdmagnetismus auch für Zeitpunkte, für die wir keine Kraft-Beobachtungen, sondern nur Declinationen oder Inclinationen oder Beide besitzen, aufzustellen.

Dieses Capitel wird anderswo veröffentlicht werden. Es wird hier gezeigt, dass man für jede Zeit, für die man eine genügende Zahl [23]*) von Declinationen oder Inclinationen besitzt, einen Ausdruck aufstellen kann, wobei man die Vertheilung der relativen Intensität auf der Erde bestimmen kann. Hat man den Ausdruck nur aus Declinationen gewonnen, so kann man die Inclination an irgend einem Orte (innerhalb gewisser Grenzen) oder ihre Vertheilung auf der Erde berechnen. Umgekehrt kann man mittelst 23 Inclinationen die Declinations-Vertheilung erhalten. Die in diesem Capitel entwickelte Methode ermöglicht also die Construction von Isogonen und Isoclinen für Zeitpunkte, für welche es sehr schwer wegen Mangel an Beobachtungen ist, und mag auch unter anderem Aufschluss geben über die Lage der Erd-Magnetpole für verschiedene Epochen.**)

Capitel VII.

Ueber die Säcular-Variation der Erdmagnetischen Intnesität.

An diesem Capitel ist vorläufig nichts weiter gemacht worden, als dass Beobachtungs-Material gesammelt worden ist und Tabellen an einigen Stationen berechnet worden sind.

Capitel VIII.

In diesem Capitel soll eine Versuchs-Zusammenstellung der möglichen Ursachen der Säcular-Variation nebst Besprechung gegeben werden.

---

*) Statt der üblichen 24 Gauss'schen Coefficienten hat man einen weniger, denn da wir keine Intensitäts-Beobachtungen voraussetzen, so bleibt ein Coefficient unbestimmt. Das Potential und also die Intensität lässt sich dann mittelst dieses nach Willkür gewählten unbestimmten Coefficienten ausdrücken. Man erhält also relative Intensität. Bei der Berechnung der Declination oder Inclination fällt dieser unbestimmte Coefficient heraus, da er im Zähler und Nenner auftritt.

**) Ein Umriss der in diesem Capitel zu verwendenden Methode wurde von meinem hochverehrten Freunde, Prof. R. S. Woodward, der American Association for the Advancement of Science in August 1894 vorgelegt und wird in der „Proceedings" für 1894 veröffentlicht werden. Ich hoffe einmal Gelegenheit bekommen zu können, die Methode praktisch zu prüfen.

Schluss.

Als vorläufiger Schluss der vorhergehenden Arbeit will ich nur noch einige Sätze aus den Schriften hervorragender Erdmagnetiker anführen.

„Man hat nur Bausteine, kein Gebäude so lange man nicht die verwickelten Erscheinungen einem Princip unterwürfig gemacht hat. ××××× Es ist jedenfalls gut, das höchste Ziel vor Augen zu haben, und die Gangbarmachung der dazu führenden Wege zu versuchen, wenn auch gegenwärtig, bei der grossen Unvollkommenheit des Gegebenen, mehr als eine entfernte Annäherung zu dem Ziele selbst noch nicht möglich ist." Gauss.

„Europas Mathematiker haben seit Kepler's und Newton's Zeiten sämmtlich die Augen gen Himmel gekehrt, um die Planeten in ihren feinsten Bewegungen und gegenseitigen Störungen zu verfolgen; es wäre zu wünschen, dass sie jetzt eine Zeitlang den Blick hinab in den Mittelpunkt der Erde senken möchten, denn auch allda sind Merkwürdigkeiten zu schauen. Es spricht die Erde mittelst der stummen Sprache der Magnetnadel die Bewegungen in ihrem Innern aus, und verstünden wir des Polarlichtes Flammenschrift recht zu deuten, so würde sie für uns nicht weniger lehrreich seyn."
Hansteen (1819).

„Viewed in itself and its varions relations, the magnetism of the earth cannot be counted less than one of the most important branches of the physical history of the planet we inhabit." Sabine (1838).

„We have hitherto known magnetism only as a telluric force of much less apparent simplicity than gravity, and greatly requiring a key to enable us to apprehend its laws, as well as its purposes in the general economy of nature. But if, as we appear to have reason to believe we are to view the magnetism not only as a telluric but also as a cosmical force, the interest and importance of our inquiries regarding it must undoubtedly be viewed as greatly augmented." Sabine (1854).



Vita.

Natus sum, Ludovicus Agricola Bauer, in urbe Cincinnati in civitate Ohio Reipublicae Americanae, die XXVI. mensis Januarii anni h. s. LXV, patre Ludovico, quem morte mihi ereptum lugeo, matre Wilhelmina e gente Buehler, qua adhuc superstite laetor. Fidei addictus sum evangelicae.

Postquam scholas per duodecim annos frequentavi in Universitate urbis Cincinnati per octo semestria studiis me dedi, perfunctus maturitatis examine admissus sum anno h. s. LXXXVIII ad gradum „Civil Engineer" summis cum honoribus, ad gradum Magistri Scientarum anno XCIV. Anno LXXXVII in urbem Washington commigravi, ex quo tempore per quinque annos Computator sub celeberrimis Mendenhall et Schott in „United States Coast and Geodetic Survey" in computationibus astronomicis et terrestribus magneticis operam consumpsi. Incitatus meis computationibus terrestribus magneticis ad studium scientiae physicae theoreticae in Germaniam transivi, ubi Universitatis Regiae Fridericae-Guilelmae Berolinensis lectionibus physicis, meteorologiis, astronomicisque professorum illustrissimorum per quattuor semestria interfui.

Magistri clarissimi me docuerunt in Universitate urbis Cincinnati: Eddy, Hyde, French, Norton, Benedict, Seybold.

In Universitate Berolinensi: Arons, von Bezold, Du Bois Reymond, Foerster, Fuchs, von Helmholtz †, Hensel, Hettner, Kundt †, Paulsen, Planck, Pringsheim, Schlesinger, Weinstein, Wien. Quibus omnibus viris optime de me meritis, imprimis autem viris illustrissimis Planck, von Bezold, Foerster, ex animi sententia summas gratias ago semperque animum gratum servabo.

Thesen.

I.

Es würde der Meteorologie wie dem Erdmagnetismus förderlich sein, wenn eine Trennung in der Pflege beider Wissenschaften folgte.

II.

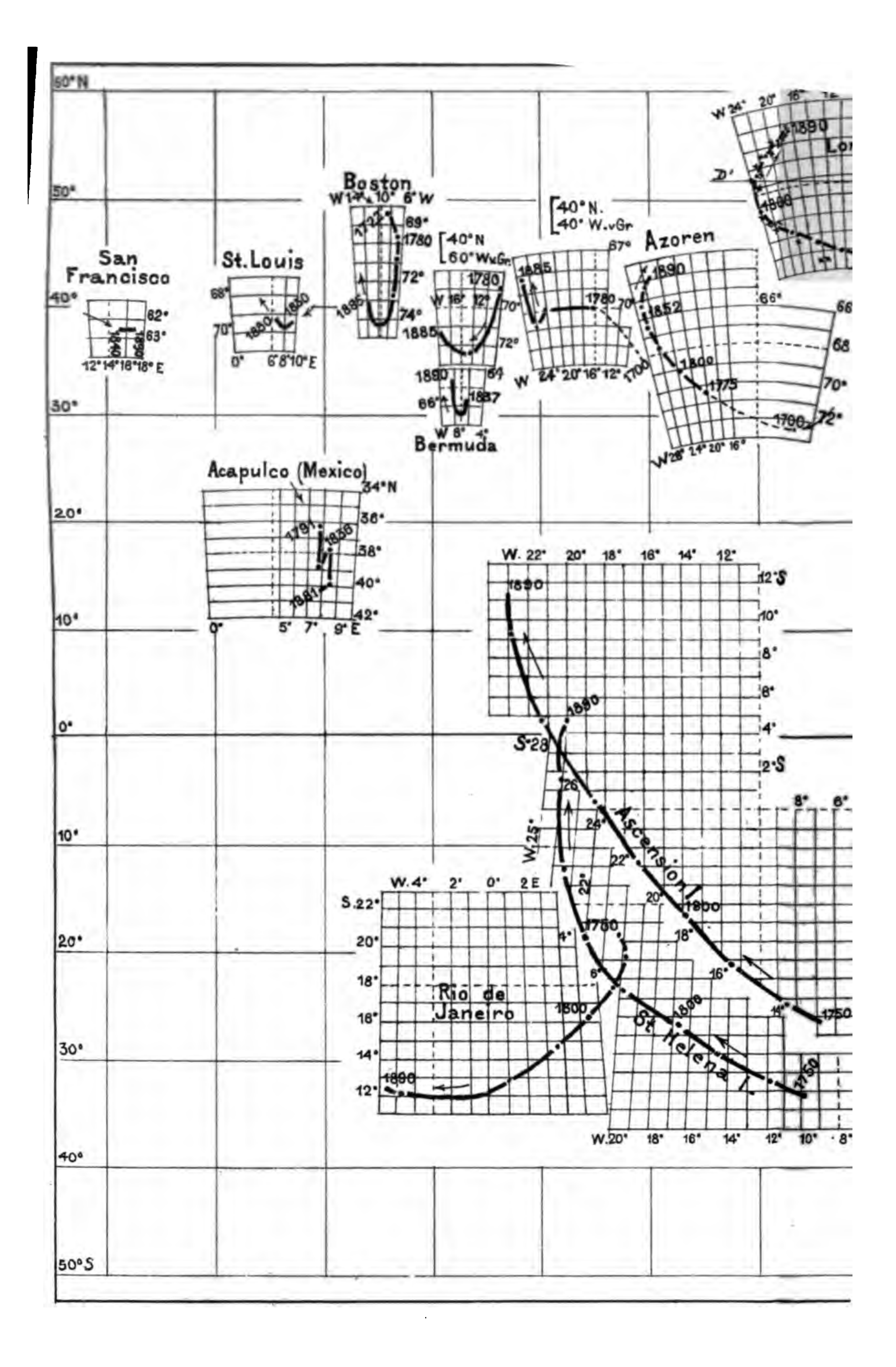
In jedem Lande sollte man zuerst die daselbst bereits vorhandenen magnetischen Beobachtungen sorgfältig sammeln und verarbeiten, ehe man daran geht, eine neue magnetische Landesaufnahme zu machen.

III.

Als eine der Hauptaufgaben der physikalischen Naturforschung ist die Feststellung und Erklärung der erdphysikalischen Erscheinungen anzusehen. Es wäre daher wünschenswert, wenn die Physiker und die Mathematiker bei ihren Forschungen die grossen Fragen der Geophysik mehr in Auge halten würden.

IV.

Es wird mehr und mehr anerkannt, dass die Gravitation nicht das einzige Band zwischen den Himmelskörpern und unserer Erde ist, sondern dass noch andere Wechselwirkungen vorhanden sind, über welche man nur durch geophysikalische Erforschung ins Klare kommen wird. Es würde daher zu empfehlen sein, die materiellen und geistigen Mittel, die gegenwärtig auf die Erbauung und Verwertung von Riesentelescopen verwendet werden, dem Bau und Betriebe von geophysikalischen Observatorien dienstbar zu machen.



San Francisco
St. Louis
Boston
Bermuda
Azoren
Acapulco (Mexico)
Rio de Janeiro
Ascension I.
St Helena I.
40° N
60° W.v.Gr.
40° N.
40° W.v.Gr.
50° N
50° S

